9 msr

1981 messen · steuern · regeln

24. Jahrgang
Heft 9
September 1981

Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,— M

**VEB
Verlag Technik
Berlin**

Index 32 525
ISSN 0026-0347

msr
messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik

Für die Überwachung und Regelung der Feuchte von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen gibt es diverse Feuchte-Meßverfahren, unter denen die sog. elektrolytischen Verfahren einen wesentlichen Platz einnehmen. Das Bild zeigt schematisch die Anordnung kammförmiger Edelmetallelektroden bei einem derartigen Feuchtemeßgerät. Ein verallgemeinerungsfähiges Beschreibungsverfahren für die Meßeigenschaften von Hygrometern wird im Beitrag auf S. 502 vorgestellt.

Titelgrafik: *G. Schweсinger*

Herausgeber:
Wissenschaftlich-technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

9

24. Jahrgang
September 1981

VEB VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

482 — *J. Wernstedt*
Zum Entwurf und Einsatz von Beratungseinheiten bei der operativen Steuerung komplexer Prozesse durch den Menschen

486 — *J. Lorenz* und *J. A. Müller*
Zur Ermittlung einer dynamischen Teilverflechtungsbilanz der Metallurgie

491 — *W. Frohberg*
Meßwerterfassung und -verarbeitung an Extrusionsanlagen mit Hilfe eines Prozeßrechners R 4000/R 4200

494 — *B. Drewitz*
Ultraschall-Laufzeitmessungen hoher Genauigkeit

498 — *H. Gatzmanga*
Kopplung gasanalytischer Meßeinrichtungen mit dem Prozeß

502 — *D. Heinze*
Systematik und Modellgleichungssatz zur einheitlichen mathematischen Beschreibung von Gasfeuchtemeßverfahren

508 — *G. Meyer* und *S. Fensch*
Beschreibung, Analyse und Implementierung von softwarerealisierten Steuerungen durch Petri-Netze

513 — Programmierbare nichtnumerische Steuerungen (VIII)

515 — *R. Wolf* und *K. Fiedler*
Elektronische Schaltungen der Automatisierungstechnik (XXXI)

517 — KURZBEITRÄGE

520 — TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN

523 — MESSEN UND AUSSTELLUNGEN

526 — TECHNISCHE INFORMATION

528 — HISTORISCHES

534 — BUCHBESPRECHUNGEN

536 — NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR

537 — VORSCHAU UND KURZINFORMATIONEN

Doz. Dr. sc. techn. *J. Wernstedt*, Ilmenau[1])

Zum Entwurf und Einsatz von Beratungseinheiten bei der operativen Steuerung komplexer Prozesse durch den Menschen

IA 6.3.

1. Zielstellung

In vielen komplexen technischen und nichttechnischen Prozessen werden wesentliche Qualitäts- und Mengenparameter bzw. Bereiche von ihnen durch die operative Steuerung des Menschen eingehalten. Die operative Steuerung erfolgt in der Regel für Prozesse mit folgenden Eigenschaften:

- Informationen über den Prozeß liegen nur ungenau oder in Form von subjektiven Einschätzungen vor.
- Wesentliche Prozeßgrößen können überhaupt nicht oder nur indirekt gemessen werden oder ihre Erfassung ist zu kostspielig.
- Theoretische Zusammenhänge sind unzureichend bekannt.
- Der Prozeß ist u. a. nichtlinear und stark gestört.

Auf der Grundlage von Beobachtungen des Prozesses und von Erfahrungen trifft der Mensch Steuerentscheidungen, die häufig einen subjektiven Charakter haben. Ziel dieses Beitrags ist es, eine Strategie zur operativen Steuerung von Prozessen vorzustellen, die auf der Grundlage einer Prozeßanalyse und der Erfahrungen eines Kollektivs von Menschen die Steuerentscheidungen des einzelnen Menschen objektiviert. An ausgewählten Beispielen wird die Leistungsfähigkeit der Konzeption demonstriert.

2. Konzeption zur rechnergestützten operativen Steuerung

Die Steuerung von Prozessen mit den oben genannten Eigenschaften soll nach dem im Bild 1 dargestellten Schema erfolgen.

Auf der Grundlage eines Vergleiches zwischen den gemessenen und den gewünschten Werten der Zielgrößen $\boldsymbol{x}$ und durch Verwendung der gemessenen nichtsteuerbaren Prozeßeingangsgrößen $\boldsymbol{u}_N$ trifft der Mensch/Operateur bisher allein eine subjektive Entscheidung $\boldsymbol{u}_s$ aus einer Menge möglicher Entscheidungen, die die Einhaltung von Qualitäts- und Mengenparameter bzw. -bereichen garantieren sollen. Die Entscheidungen werden dabei auf der Grundlage qualitativer Gesetze getroffen, die ebenfalls einen subjektiven Charakter besitzen. In den letzten Jahren ist versucht worden, mit Hilfe des „Fuzzy-Konzepts" diese Entscheidungsfindung zu beschreiben und den Menschen durch einen „Fuzzy-Regler" zu ersetzen [1] bis [3].

Dieser Weg wird in der Arbeit nicht beschritten, da erstens angenommen wird, daß nicht alle wesentlichen Größen durch technische Einrichtungen erfaßt werden können bzw. dieses unökonomisch ist, und zweitens ein Teil der Prozeßgrößen und -zusammenhänge mit dem Konzept der Statistik und der Schätztheorie ausreichend beschrieben werden kann.

Zur Objektivierung der Entscheidungen jedes einzelnen Operateurs wird der Aufbau einer Beratungseinheit vorgeschlagen, die auf der Grundlage einer Prozeßanalyse, der Auswertung der Erfahrungen des Operateurs-Kollektivs und der aktuellen Beobachtungen dem Operateur einen Steuervorschlag $\boldsymbol{u}_s^*$ ermittelt und bereitstellt [4]. Auf der Grundlage des Steuervorschlages $\boldsymbol{u}_s^*$ und der Einschätzung des Zustandes des Prozesses trifft der Operateur die zu realisierende Steuerentscheidung $\boldsymbol{u}_s$. Sie kann direkt auf den Prozeß wirken oder die Führungsgröße für eine unterlagerte Steuerung sein.

Die „Beratungseinheit" wird in zwei Schritten aufgebaut: Im ersten Schritt erfolgt auf der Grundlage einer theoretischen und experimentellen Prozeßanalyse die Auswahl von Prozeßeingangsgrößen, die wesentlich die Zielgrößen direkt oder indirekt beeinflussen. Für diese wesentlichen Prozeßgrößen und -zusammenhänge werden Signal- und Systemmodelle erarbeitet. Bewährt hat sich dabei die in [5] und [6] vorgestellte und untersuchte Konzeption der experimentellen Prozeßanalyse. Sie ist im Bild 2 dargestellt. Für jeden Teilschritt wurden spezielle Methoden theoretisch und rechentechnisch aufbereitet. Wichtig ist, daß die Erarbeitung der Signal- und Systemmodelle durch Iteration in den entsprechenden Stufen erfolgen kann und die vorhandene a-priori-Information, insbesondere aus der theoretischen Prozeßanalyse, voll verwendet wird. Da häufig die Einhaltung von Bereichen für die Zielgrößen $\boldsymbol{x}$ ausreichend ist, die Prozeßgrößen nur mit einer bestimmten Genauigkeit gemessen bzw. ermittelt werden können und die Prozesse extrem nichtlinear sind, ist die Anwendung von Methoden der Klassifikation und von Klassenmodellen vorteilhaft.

Im zweiten Schritt erfolgt die Ermittlung von Steuervorschlägen auf der Grundlage der Prozeßsituation, der Signal- und Systemmodelle und der Erfahrungen des Operateur-Kollektivs. Da nur unvollständige mathematische Modelle und unsichere Informationen vorliegen, werden keine Methoden, die streng optimale Lösungen anstreben, verwendet. Damit hat die „Beratungseinheit" die im Bild 3 angegebene Struktur.

Nach der Auswahl und Klassifikation der wesentlichen Prozeßinformationen ($\boldsymbol{x}_w$, $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{u}_{Ns}$) kann auf der Basis eines Logik-Steuerkonzepts der Art:

$$(W(\boldsymbol{x}_w) = \boldsymbol{a}) \wedge (W(\boldsymbol{u}_{Ns}) = \boldsymbol{b}) \rightarrow W(\boldsymbol{u}_s) = \boldsymbol{c} \quad (1)$$

mit:

$$\boldsymbol{a} \in X_w \leqq R^l; \quad \boldsymbol{b} \in U_{Ns} \leqq R^n, \quad \boldsymbol{c} \in U_s \leqq R^m,$$
$$W(\cdot) = \text{Wert von } (\cdot)$$

ein Steuervorschlag unter Verwendung von Signal- und Systemmodellen ermittelt werden.

Die Festlegung der Zuordnung von Prozeßsituation ($\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{x}_w$, $\boldsymbol{u}_{Ns}$) und Steuereingriff $\boldsymbol{u}_s$ ist das schwierigste Problem. Gute Ergebnisse konnten dann erzielt werden, wenn fundierte theoretische Teilkenntnisse mit den Erfahrungen des Operateurs bei der Steuerung des gesamten Prozesses kombiniert und zusätzlich durch eine statistische Prozeßanalyse abgesichert wurden. Dies gilt auch für die Ermittlung von Bereichen für die zu steuernden Zielgrößen $\boldsymbol{x}$, die mittelbar oder unmittelbar im Zusammenhang mit Qualitäts- und Mengenparametern stehen. Da in vielen Fällen klassifizierte Eingangs- und Ausgangsgrößen zur Führung der Prozesse ausreichend sind oder vorliegen, soll bei Verwendung des Logik-Steuerkonzepts dann von einer Klassen-Logik-Steuerung (KLS) als „Beratungseinheit" ge-

[1]) Mitteilung aus der TH Ilmenau, Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik, Wissenschaftsbereich Automatische Steuerung.

Bild 1. Struktur der operativen Prozeßführung durch den Menschen mit Unterstützung durch eine Beratungseinheit

Bild 2. Konzeption der experimentellen Prozeßanalyse

Bild 3 Struktur einer „Beratungseinheit"

sprochen werden. Diese Bezeichnung erfolgt in Anlehnung an den in [1] eingeführten Begriff der „Fuzzy-Logic-Control". Anhand realisierter Einsatzfälle soll der Aufbau und die Wirkungsweise der Konzeption demonstriert werden.

3. Realisierte Einsatzfälle

3.1. *Testfall 1: Beratungseinheit Anodeneffekt*

Als eine Teilaufgabe einer komplexen Automatisierungskonzeption für die Aluminiumschmelzelektrolyse im VEB Chemiekombinat Bitterfeld wurde zur frühzeitigen Erkennung und Beseitigung der in unregelmäßigen Abständen auftretenden kritischen Phasen des Schmelzprozesses (Anodeneffekte) eine Beratungseinheit für den Anlagenfahrer entwickelt (Bild 4). Entsprechend der im Bild 1 angegebenen allgemeinen Struktur bedeuten:

x fiktive Badspannung
x_{soll} Grenzspannung u_G des Bades
u_s (Anodenstellung verändern, Badkruste brechen, Tonerde auffüllen).

Bild 4. Typischer Verlauf der fiktiven Badspannung

Diese Größen wurden gewählt, weil keine anderen Informationen während des Schmelzprozesses zur Verfügung stehen, die eigentlich entsprechend den theoretischen Kenntnissen über den Prozeß erfaßt werden müßten. Damit ist klar, daß der Badzustand nur unvollständig erfaßt wird und trotzdem eine Entscheidung durch den Anlagenfahrer getroffen werden muß. Für den Verlauf der fiktiven Badspannung wurden einfache Zeitreihenmodelle der Form

$$x(t) = \sum_{i=0}^{n} a_i t^i \quad (2)$$

aufgestellt und im Echtzeitbetrieb nachgeführt [7]. Das Ziel der Beratungseinheit „Anodeneffekt" bestand darin, durch Auswertung von Parametern der Prozeßgrößen und der Zeitreihenmodelle die Zeit, in der die Bäder sich in den kritischen Phasen befinden, wesentlich zu verringern. Die Steuerentscheidung des Anlagenfahrers wird dann in den folgenden Schritten vorbereitet und getroffen:

1. Ermittlung der fiktiven Badspannung und der Parameter des Zeitreihenmodells durch die Beratungseinheit
2. Prüfung der Möglichkeit eines Anodeneffektes aus einer Vorhersage mit der Entscheidungstabelle nach Tafel 1
3. Treffen der Entscheidung und Auswahl von Steuervarianten durch den Anlagenfahrer unter Ausnutzung zusätzlicher Informationen.

Die mit der Beratungseinheit „Anodeneffekt" erreichte Sicherheit der Vorhersage der energieintensiven kritischen Phase des

Tafel 1. Entscheidungstabelle für das Eintreten eines Anodeneffektes

Modell $\hat{x}(t) = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 t$

Kriterium	Anodeneffekt	
	nein	ja
$\hat{a}_1$ in V/min	$\leqq 0{,}14 \cdot 10^{-2}$	$> 0{,}14 \cdot 10^{-2}$
$\lvert\hat{x}(k) - \hat{x}(k-1)\rvert$	$\leqq 0{,}1 \cdot 10^{-1}$	$> 0{,}1 \cdot 10^{-1}$

Bades beträgt 60—70% für einen Vorhersagezeitraum von 10—15 min [8]. Der eingesparte Energieverbrauch kann bis zu 500 kWh/t geschmolzenen Aluminiums betragen.

3.2. *Testfall 2: Beratungseinheit Hochwasser*

Für das Flußgebiet der Oberen Werra wurde zur Wassermengenvorhersage an ausgewählten Pegeln und zur Steuerung der vorgesehenen Rückhaltebecken eine operative Strategie in Form einer Beratungseinheit für den Oberflußmeister der Oberflußmeisterei Suhl entwickelt. Die Ziele der Strategie bestehen darin, durch die Steuerung der Ablässe von Rückhaltebecken einen bordvollen Abfluß im Zielpegel Meiningen und darüber hinaus zu erreichen, oder, wenn dies nicht möglich ist, durch die Verwendung von Vorhersagemodellen die zu erwartenden Meldestufen (entsprechen Maßnahmeplänen) frühzeitig zusammen mit Entscheidungsvorschlägen anzugeben (Bild 5).
Die Beratungseinheit „Hochwasser" dient somit der Objektivierung der Entscheidungen des Oberflußmeisters. Für dieses Projekt haben die im Bild 1 angegebenen Größen folgenden Inhalt:

x Abfluß am Zielpegel Meiningen
x_{soll} bordvoller Abfluß am Zielpegel
u_s Ablässe der Talsperren bzw. Meldestufen (I, II, III, IV) des Zielpegels
u_{Ns} Niederschlagswerte, Durchflußwerte, Temperaturwerte usw.

Nach der Ermittlung wesentlicher Einflußgrößen auf das Abflußverhalten wurden für jedes der drei Einzugsgebiete ein Schneeschmelz-, Niederschlag/Abfluß- und Flußlaufmodell für verschiedene Zeitintervalle ΔT (3 h bis 24 h) erarbeitet [9] und [10]. Dazu wurden lineare Differenzgleichungen der Form

$$x(k) = \sum_{i=0}^{n} b_i u(k-i) - \sum_{j=1}^{m} a_j x(k-j) \qquad (3)$$

Bild 5. Strategie der Wassermengenvorhersage für den Zielpegel Meiningen

mit

$x(k)$ = Abfluß im Gebiet zur Zeit $k \cdot \Delta T$
$u(k)$ = Niederschlag zur Zeit $k \cdot \Delta T$ oder Zufluß zur Zeit $k \cdot \Delta T$

verwendet.
Aus den Teilmodellen wurden für die einzelnen Einzugsgebiete und das Gesamtgebiet Meiningen Vorhersagemodelle entwickelt. Für das Einzugsgebiet Rappelsdorf und die Vorhersage für einen Zeitabschnitt sind sie in Tafel 2 angegeben.
Auf der Grundlage dieser Modelle arbeitet die Beratungseinheit „Hochwasser" in folgenden Schritten Entscheidungsvorschläge für den Oberflußmeister aus:

1. Erfassung der aktuellen Durchflüsse und Niederschläge und Klassifikation der Änderungen beider Größen entsprechend dem im Bild 6 angegebenen Raster.
2. Auswahl eines Vorhersagemodells entsprechend der Entscheidungstabelle nach Tafel 2.
3. Abschätzung des direkt abflußwirksamen Niederschlages $\hat{u}_e$ aus Modellen oder durch den Operateur während des Hochwasserereignisses.
4. Vorhersage der zu erwartenden Zuflüsse und des Abflusses am Zielpegel Meiningen.
5. Ausgabe von Entscheidungsvarianten für das Abgaberegime der Talsperren und/oder Angabe über Zeiträume für das Erreichen der entsprechenden Meldestufen für den Zielpegel Meiningen.
6. Entscheidung des Oberflußmeisters.
7. Schritt 1 usw.

Tafel 2. Vorhersagemodelle Gebiet Rappelsdorf ($\hat{u}_e$ = geschätzter Effektniederschlag)

ΔT [h]	
3	$\hat{x}(k+1) = 1{,}45\,x(k) - 0{,}48\,x(k-1) + 0{,}076\hat{u}_e(k+1) + 0{,}68\hat{u}_e(k)$
6	$\hat{x}(k+1) = 1{,}20x(k) - 0{,}28x(k-1) + 0{,}30\hat{u}_e(k+1) + 0{,}69\hat{u}_e(k)$
12	$\hat{x}(k+1) = 0{,}97x(k) - 0{,}15x(k-1) + 1{,}04\hat{u}_e(k+1)$
24	$\hat{x}(k+1) = 1{,}28x(k) - 0{,}37x(k-1) + 0{,}31\hat{u}_e(k+1)$

Im Bild 5 ist die Arbeit der Beratungseinheit für den Fall „Entscheidungsvorschläge für die Meldestufen am Zielpegel Meiningen" dargestellt. Auf der Grundlage der gemessenen Durchflüsse und Niederschläge sowie der zu erwartenden Niederschläge werden drei Varianten für die Abflußentwicklung erarbeitet:

Variante A: Ein maximal zu erwartender Effektivniederschlag kommt zum Abfluß.

Variante B: Ein mittlerer Effektivniederschlag auf der Grundlage einer Prognose des Wetterdienstes kommt zum Abfluß.

Variante C: Effektivniederschlag wird nicht wirksam.

Der Oberflußmeister ist durch die Angaben der Beratungseinheit „Hochwasser" in die Lage versetzt, das Erreichen der Meldestufen frühzeitig zu erkennen und die zu erwartende Wassermenge durch das Ablaßregime von Rückhaltebecken in den Bereich einer niedrigen Meldestufe zu halten. Die Erprobung der Beratungseinheit liefert bei einer Vorhersage bis zu 24 h eine Genauigkeit in der Scheitelhöhe von ± 10 cm und bei der Laufzeit von $\pm 1{,}5$ h.

Δu \ $\lvert\Delta x\rvert$	0-10	10-100	100-200	200-400
0-20	24	24/12	12/6	6
20-40	24/12	24/12	12/6	6/3
>40	6	6	6/3	3

Bild 6
Entscheidungstabelle für die Auswahl des Intervalls ΔT {Δx in m³/s/24 h; Δu in mm/24 h}

Realisiert wurde sie für dieses Gebiet auf einem Kleinstrechner K 1002. Eine Beratungseinheit auf der Basis des Rechners K 1510 mit automatischer Informationserfassung befindet sich in der Entwicklung.

3.3. *Testfall 3: Beratungseinheiten Qualitätssicherung*

In enger Zusammenarbeit mit dem VEB Kombinat Maxhütte Unterwellenborn wurden für die Erhöhung des Stahlausbringens fünf Beratungseinheiten für den technologischen Abschnitt „Stahl- und Walzwerk" entwickelt [11] bis [13]. Das Ziel bestand darin, die subjektiven Steuerungsentscheidungen der Prozeßspezialisten (Blasmeister, Schmelzer, Blockwalzer usw.) durch Entscheidungsvorschläge der jeweiligen Beratungseinheit zu objektivieren. Aufgrund der Kompliziertheit der zu steuernden Prozesse, der fehlenden oder unsicheren Informationen und der noch unzureichenden theoretischen Kenntnisse sowie extremer Nichtlinearitäten behält der Mensch seine zentrale Stellung bei der Führung dieser Prozesse bei. Auf der Basis einer umfassenden statistischen Prozeßanalyse einschließlich einer Fehleranalyse wurden in Verbindung mit theoretischen Untersuchungen und Expertenbefragungen die Beratungseinheiten „Fertigblasen", „Desoxydation", „Tiefofeneinsatz", „Blockwalze" und „Blockschere" entwickelt. Zur Zeit befinden sie sich in der technischer Erprobung (Bild 7).

In diesem Beitrag soll auf die Erarbeitung der Beratungseinheit „Fertigblasen" eingegangen werden. Die Herstellung von Stahl im Konverter ist ein komplizierter technologischer Prozeß, bei dem wesentliche Informationen (Temperatur, chemische Zusammensetzung usw.) während des Blasvorganges nicht oder nur sehr ungenau vorhanden sind. Deshalb trifft der Blasmeister aufgrund von Erfahrungen subjektive Steuerentscheidungen über den Blasvorgang und das Fertigblasen. Auf der Grundlage einer Temperaturmessung und der chemischen Analyse nach dem Blasvorgang entscheidet er über Maßnahmen beim Fertigblasen. An dieser Stelle soll die Beratungseinheit ihm einen Steuervorschlag unterbreiten.

Durch die Prozeßanalyse wurden im ersten Schritt wesentliche qualitativ und quantitativ erfaßte Informationen ausgewählt und von diesen Signal- und Systemmodelle aufgestellt. Auf diesen Ergebnissen aufbauend wurden Zielbereiche/-gebiete für solche Prozeßgrößen durch eine Fehleranalyse gesucht, in

Bild 7
Konzept der operativen Prozeßführung im Stahl- und Walzwerk

Bild 8. Häufigkeiten H_i der Stahlfehler in Klassen der Prozeßgrößen Phosphor und Temperatur

Umfang: 12298, H_1 ≙ Häufigkeit Schalen, H_2 ≙ Häufigkeit Längsrisse, H_3 ≙ Häufigkeit Querrisse

Bild 9. Steuertabelle der Beratungseinheit „Fertigblasen"

Bedeutung der Größen entsprechend Bild 1:

x_{soll} Wertebereiche für die Größen x; u_s Aufheizen, Abkühlen, Kalkmenge, Medium (O_2/N_2) usw.

x Temperatur, Phosphorgehalt, Mangangehalt als indirekte Größen für die Qualitätsmerkmale

denen die Qualitätsmerkmale „Schalen", „Risse" und „Lunker" minimale Werte aufweisen (Bild 8).

Die Fehleranalyse ergab als günstiges Gebiet die Klasse 4. Dieser Temperaturbereich ist jedoch technologisch nicht sinnvoll. Deshalb wird das Gebiet der Klasse 2 ausgewählt, aus dem sich unter Beachtung der TGL Werte für Phosphor das im Bild 9 angegebene endgültige Zielgebiet ergibt.

Das schwierigste Problem war der Entwurf der Steuervorschläge zu der jeweiligen Situation. Auf der Basis der theoretischen Erkenntnisse, von Signal- und Systemmodellen und den Erfahrungen der Blasmeister, Schmelzer usw. wurden Klassen-Logik-Steuerungen ausgearbeitet, die das Erreichen des Zielgebietes garantieren. Das Ergebnis ist in Form einer Entscheidungstabelle im Bild 9 dargestellt.

In den Situationsklassen stehen Steuervorschläge, die dem Prozeßspezialisten von einem Prozeßrechner unterbreitet werden.

Wichtig war die konstruktive Mitarbeit der Blasmeister und Schmelzer bei der Festlegung des Entscheidungsmodells, weil ihr Wissen wesentlich die Qualität der später zu realisierenden Steuervorschläge bestimmt. In der Erprobung findet jetzt ein ständiger Dialog zwischen der jeweiligen Beratungseinheit und dem Kollektiv der Prozeßspezialisten statt, wobei beide ihre vorhandenen Lerneigenschaften zur Verbesserung der Entscheidungen nutzen.

Zusammenfassung

Die entwickelte und erprobte Konzeption der operativen Führung von komplexen Prozessen mit den im Abschn. 1. genannten Eigenschaften durch den Menschen unter Ausnutzung von Entscheidungsvorschlägen aus den Beratungseinheiten hat sich bewährt. In vielen Fällen entspricht der Entwurf des Entscheidungsvorschlages aufgrund der Art der vorhandenen Informationen oder der Forderungen an die Zielgrößen dem Prinzip der Klassen-Logik-Steuerung. Die Beratungseinheit trägt wesentlich zur Objektivierung der Steuerentscheidungen des Menschen bei, weil sie die Integration von theoretischen und experimentellen Modellen mit dem Entscheidungsmodell des Prozeßspezialisten gestattet. Unter Ausnutzung der Lerneigenschaften kann durch sie sowohl das Kollektiv der Prozeßspezialisten auf das Niveau der Besten geführt als auch der Übergang auf neue Technologien erleichtert werden. Die begonnenen Untersuchungen müssen in Theorie und Anwendung in den nächsten Jahren noch wesentlich ausgebaut werden, z. B. auch in Richtung der Diagnose in der Medizin.

Literatur

[1] *King, P. I.; Mandani, E. H.:* The Application of Fuzzy Control System to Industrial Processes. Automatica, Vol. 13 (1977) pp. 235–242.

[2] *Larsen, P. M.:* Industrial Applications of Fuzzy-Logic Control. Int. I. Man-Machine Studies (1980) No. 12, pp. 3–10.

[3] *Peschel, M.; Bocklisch, S. F.:* Unscharfe Modellbildung und Steuerung. Berichte TH Karl-Marx-Stadt (1978) I–IV.

[4] *Wernstedt, J.:* Zum Entwurf und Einsatz von Beratungseinheiten bei der operativen Steuerung von Prozessen durch den Menschen. Unveröffentlichte Studie (1980) TH Ilmenau.

[5] *Bendel, U.; Bergmann, S.; Engmann, U.; Sprenger, H.-J.; Wernstedt, J.:* Methoden der statischen Optimierung industrieller Prozesse. msr 14 (1971) H. 3, S. 90–96.

[6] *Wernstedt, J.:* Ein Beitrag zur Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur prozeßgekoppelten statistischen Modellbildung zeitvarianter multivariabler Systeme. Dissertation B, TH Ilmenau 1978.

[7] *v. Mezynski, W.; Wernstedt, J.:* Signalmodellanalyse der Aluminium-Schmelzflußelektrolyse zur Vorhersage von Anodeneffekten im Echtzeitbetrieb. Bericht, TH Ilmenau 1979.

[8] *v. Mezynski, W.; Wernstedt, J.:* Untersuchungen von Entscheidungsregeln zur Führung der Aluminium-Schmelzflußelektrolyse. Bericht, TH Ilmenau 1980.

[9] *Hoffmeyer-Zlotnik, H.-J.; Seifert, A.; Wernstedt, J.:* Einzugsgebietsmodelle und Wassermengenvorhersage für die Werra. VF 11.0, 1975–1980, TH Ilmenau.

[10] *Hoffmeyer-Zlotnik, H.-J.; Seifert, A.; Wernstedt, J.; Heim, H.; Luckert, H.; Neis, J.:* Neue Modellbildungsverfahren zum Durchflußgeschehen für die Hochwasservorhersage. WWT (1980) H. 5, S. 162–164.

[11] *Winkler, W.; Wernstedt, J.:* Untersuchungen zur Verbesserung der Blasstahlqualität. VF 26.0, 1979/80, TH Ilmenau.

[12] *Meyer, D.; Wernstedt, J.; Winkler, W.:* Konzeption einer operativen Prozeßführung zur Verbesserung der Blasstahlqualität. Unveröffentl. Bericht, TH Ilmenau 1979.

[13] *Kläring, H.; Meyer, D.; Wernstedt, J.; Winkler, W.:* Ermittlung von wesentlichen Stahlfehlerursachen und Einführung von Steuerstrategien in die Technologie des Stahl- und Walzwerkes zur Qualitätssicherung. Neue Hütte (1981) H. 5, S. 179–184.

msr 7407

Dipl.-Ök. *J. Lorenz* und Doz. Dr. sc. oec. *J.-A. Müller*, Berlin[1])

Zur Ermittlung einer dynamischen Teilverflechtungsbilanz der Metallurgie

IA 6.2.

0. Einleitung

In [1] und [2] wurde ein dynamisches Modell einer in n Zweige aufgegliederten Volkswirtschaft hergeleitet und die Realisierung der Syntheseaufgabe dargelegt. Eine der Hauptrichtungen der Vervollkommnung der Volkswirtschaftsplanung der sozialistischen Länder ist die stufenweise Einführung von Verflechtungsmodellen in allen Ebenen der Volkswirtschaft — in der UdSSR im Rahmen der Ausarbeitung eines automatisierten Systems der Planberechnungen (ASPR).

In Analogie zu den Ableitungen in [1] kann man die Gesamtproduktion eines Zweiges weiter untergliedern und ein Verflechtungsmodell des Zweiges — aus volkswirtschaftlicher Sicht als Teilverflechtungsbilanz bezeichnet — entwickeln. Es wird erarbeitet, um die auf Zweigebene eingehenden volkswirtschaftlichen Plandaten zu desaggregieren und Erzeugnisbilanzen in einer entsprechend detailierten Nomenklatur zu erhalten. Außerdem ist es mit Hilfe von Teilverflechtungsbilanzen möglich, aggregierte Koeffizienten für das volkswirtschaftliche Verflechtungsmodell zuverlässig zu berechnen.

Auch in der Metallurgie entstand eine Teilverflechtungsbilanz für Erzeugnisse der Schwarzmetallurgie [3], die sich jedoch durch ihren algorithmischen Aufbau von anderen unterscheidet. Anliegen dieses Beitrages soll sein, auf der Grundlage der für die Volkswirtschaft in [1] und [2] hergeleiteten Modellstruktur eine dynamische Teilverflechtungsbilanz zu erarbeiten, die

a) variable Kooperationsbeziehungen erfaßt
b) die Subsititutionsbeziehungen zwischen den Produktionsfaktoren (in diesem Fall Arbeitskräfte und Grundfonds) besser abbildet
c) die Grundfondsreproduktion und den Einfluß des wissenschaftlich-technischen Fortschritts berücksichtigt.

1. Aufgabenstellung

Der Produktionsprozeß schwarzmetallurgischer Erzeugnisse kann in 7 Produktionsstufen (Roheisen-, Stahl-, Halbzeug-,

---

[1]) Mitteilung aus der HfÖ „Bruno Leuschner" Berlin.

Walzstahlproduktion u. a.) eingeteilt werden [3]. Die Produktionsstufen sind in Aufkommensquellen (komplexe Produktionskapazitäten, Werke, Anlagen — je nach Detailliertheitsgrad der verwendeten Nomenklatur) aufgeteilt. Im Gesamtmodell werden bis zu 300 Aufkommensquellen zu berücksichtigen sein.

1.1. *Untersuchungsziel*

Es sind Varianten der Entwicklung der Aufkommensstruktur der Metallurgie zu erarbeiten, die langfristig eine stabile Versorgung der Volkswirtschaft mit schwarzmetallurgischen Erzeugnissen gewährleisten. Bei der Erarbeitung der Varianten, die mögliche Grundrichtungen der weiteren Entwicklung der Schwarzmetallurgie festlegen, ist die entsprechende Entwicklung der Aufkommensstruktur an schwarzmetallurgischen Erzeugnissen zu ermitteln und mit der vorgesehenen Entwicklung der Kapazitäten der Aufkommensquellen zu vergleichen.
Bei der Ermittlung zulässiger Varianten sind i. allg. zusätzliche Schranken (Energie-, Rohstoff-, Importrestriktionen) zu berücksichtigen. Ziel der Variantenberechnungen muß es sein, eine möglichst effektive Aufkommensstruktur zu ermitteln, d. h. Varianten, die die geforderte Angebotsentwicklung mit minimalem Ressourceneinsatz erreichen bzw. bei gegebenem Ressourceneinsatz maximale zusätzliche Bedarfsbefriedigung der Volkswirtschaft an schwarzmetallurgischen Erzeugnissen sichern. Dementsprechend ist die Erweiterung des Verflechtungsmodells zu einem Optimierungsmodell anzustreben. Dabei ist die Entwicklung der Produktionskapazitäten als dynamischer Prozeß zu beschreiben

1.2. *Bedingungen*

b_1: Es werden nur Aufkommensquellen bis zur Halbzeugproduktion erfaßt (Roheisen, Stahl, Halbzeug).

b_2: Die Bedarfsentwicklung für die Aufkommensquellen sei bekannt.

b_3: Die Gesamtproduktion der Aufkommensquellen wird nicht nach dem Feinsortiment spezifiziert. Dementsprechend werden jeder Aufkommensquelle nur ein Erzeugnis (Elektrostahl, Siemens-Martin-Stahl usw.) und ein Vormaterial zugeordnet.

b_4: Die Gesamtproduktion der Aufkommensquellen und ihre Kooperationsbeziehungen werden mengenmäßig erfaßt. Zur Einschätzung der Realisierungsmöglichkeiten der berechneten Varianten ist der Energiebedarf und das notwendige Aufkommen an Rohstoffen und Importen zu ermitteln.

2. Erzeugnisverflechtungsbilanz mit variablen Kooperationsbeziehungen

Die Abbildung variabler Kooperationsbeziehungen (Lieferstrukturen), d. h. variabler Materialaufwandskoeffizenten, ermöglicht einerseits die Umverteilung der Materialanforderungen zur Beseitigung von Kapaziätsdefiziten, erschwert aber andererseits die Anwendung der traditionellen Verflechtungsbilanzierung, für die gilt:

$$X_i = \sum_j m_{ij} X_j + Y_i \,. \tag{1}$$

X_i bzw. Y_i Gesamterzeugung bzw. Endproduktion des i-ten Erzeugnisses, m_{ij} direkter Materialaufwandskoeffizient
Die Abhängigkeit der Aufwandskoeffizenten m_{ij} von der Lieferstruktur ist im Modell zu erfassen, da der Bedarf einer Quelle nach einer bestimmten Materialart bei bekannter Produktionsmenge und bekanntem Produktionssortiment zwar mengenmäßig bestimmt ist, aber diese Materialart von mehreren Quellen produziert werden kann. In [4] wird gezeigt, daß die Modellierung mit Anteilkoeffizienten, die als variabel angenommen werden, wegen der damit verbundenen numerischen Probleme bei der Lösung nichtlinearer Gleichungssysteme größerer Dimension ausscheidet. Entsprechend dem in [4] gegebenen Ansatz wird deshalb die Gesamtproduktion für jedes Erzeugnis nach den Aufkommensquellen der möglichen Vormateriallieferungen unterteilt. Zur Formalisierung sind folgende Bezeichnungen und Kenngrößen eingeführt:

Q_j j-te Aufkommensquelle
X_{ij} Gesamtproduktion von Erzeugnissen der Art j, die mit Material von Q_i hergestellt wird (in t/Jahr)
X_j Gesamtproduktion von Q_j (in t/Jahr)
Y_j Finalproduktion von Q_j (in t/Jahr)
K_j Produktionskapazität von Q_j (Jahresleistung in t)
p_j Materialeinsatz zur Herstellung einer Einheit Erzeugnis j.

Für die Darstellung der Bilanzgleichung ist es nützlich, die folgenden Indexmengen einzuführen:

V_j Indexmenge der Vorläufer von Q_j (Menge aller Indizes der Aufkommensquellen, die Material nach Q_j liefern können)
N_j Indexmenge aller Nachläufer von Q_j (Menge aller Indizes der von Q_j mit Material belieferten Quellen).

Die zum bekannten Verflechtungsmodell Gl. (1) analoge Bilanz lautet damit:

$$\sum_{i \in V_k} X_{ik} = \sum_{j \in N_k} p_j X_{kj} + Y_k \,, \qquad \sum_{i \in V_k} X_{ik} = X_k \,. \tag{2}$$

Aus Qualitätsgründen notwendige Festzuordnungen können durch Vorgabe von Schranken für die X_{ij} erfaßt werden.
Gleichung (2) ist ein lineares Gleichungssystem für die unbekannten Produktionsmengen X_{ij}. Die Lösung des Gleichungssystems ist i. allg. nicht eindeutig. Zur Auswahl einer Variante ist ein geeignetes Kriterium zu formulieren.

3. Modellierung der Substitutionsbeziehungen und der Grundfondsreproduktion

Zur formalisierten Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Gesamtproduktion (oder Produktionskapazität) und den eingesetzten Ressourcen gibt es mehrere Modellansätze. Für die Modellierung am einfachsten ist die Annahme der Proportionalität zwischen Ressourcenaufwand und Gesamtproduktion. Zu gegebener Gesamtproduktion lassen sich dann die notwendigen Arbeitskräfte- und Grundmittelbestände ermitteln. Wird die Aufgabenstellung umgekehrt, d. h. es ist zu gegebenen Grundfonds- und Arbeitskräftebeständen die mögliche Gesamtproduktion zu ermitteln, so geht die Proportionalität zwischen Ressourcenaufwand und Gesamtproduktion verloren. Es ergeben sich dann limitionale Produktionsfunktionen, die zwar die Begrenztheit der Produktionskapazität in Abhängigkeit von vorhandenen Ressourcen erfassen, aber nicht die möglichen Substitutionsbeziehungen zwischen den Ressourcen. Ihre Modellierung erfordert den Übergang zu substitutionalen Produktionsfunktionen, wobei die Cobb-Douglas-Funktion [2] ein praktikabler Ansatz ist. Diese Funktion ist in den Produktionsfaktoren nichtlinear.
In Verflechtungsmodellen größerer Dimension wird man jedoch auf derartige Produktionsfunktionen wegen der damit verbundenen numerischen Probleme bei der Lösung des Bilanzgleichungssystems und mehr noch der Probleme bei der Ermittlung optimaler Lösungen sowie dem erheblichen Identifikationsaufwand verzichten. An ihrer Stelle werden entsprechend [5] Kapazitätszuwachsfunktionen eingeführt, die neben der Linearität in den Produktionsfaktoren (einfache Identifikation) Aussagen über die Entwicklung der Produktionskapazität und der durchschnittlichen Arbeitskräftezahl in Abhängigkeit von der Effektivität und der Reproduktion der Grundfonds erlauben. Mit Hilfe derartiger Funktionen können der Identi-

fikationsaufwand und der numerische Aufwand insbesondere bei Modellen sehr großer Dimension erheblich gesenkt werden. In der Produktionsperiode t gilt:

$$\Delta X_t = -b_a H_t + b_n F_t \tag{3}$$

$$\Delta A_t \{\geqq\} -a_a H_t + a_n F_t \,. \tag{4}$$

ΔA_t Änderung der durchschnittlichen Arbeitskräftezahl, ΔX_t Änderung der Produktionskapazität, F_t Gundfondszugänge ($F_t \geqq 0$), H_t Grundfondsaussonderungen ($H_t \geqq 0$), a_a je Einheit Gundfondsaussonderungen freigesetzte Arbeitskräfte, a_n je Einheit Grundfondszugang gebundene Arbeitskräfte, b_a Produktionskapazität je Einheit alter Grundfonds, b_n Produktionskapazität je Einheit neuer Grundfonds

Offensichtlich ergibt sich damit der Kapazitätszuwachs aus der Differenz der Aussonderungen und fertiggestellten Investitionen und die Arbeitskräfteveränderung aus der Differenz der Anzahl der durch Aussonderungen freigestellten Arbeitskräfte und der für neue Grundfonds benötigten Arbeitskräfte.

Bei Gleichheit in Gl. (4) kann man H_t eliminieren und erhält:

$$\Delta X_t = \frac{b_a}{a_a} \Delta A_t + \frac{b_n a_a - b_a a_n}{a_a} F_t \,. \tag{5}$$

Aus der Beziehung folgt, daß ein Kapazitätszuwachs je Einheit neuer Grundfonds in der Produktionsperiode t bei konstanten Arbeitskräften nur möglich ist, wenn gilt

$$\frac{b_n}{b_a} > \frac{a_n}{a_a} .$$

Mit Hilfe der Gleichungen können Aussagen über die Entwicklung der Produktionskapazität und der durchschnittlichen Arbeitskräftezahl in Abhängigkeit von der Effektivität und der Grundfondsreproduktion erfolgen. Der Identifikationsaufwand und der numerische Aufwand bei Modellen großer Dimension werden erheblich gesenkt. Darüber hinaus ermöglicht dieser Ansatz,

a) durch die Differenzierung zwischen alten und neuen Grundfonds die unterschiedliche Effektivität des Grundfondsbestandes hinsichtlich der Bindung von Arbeitskräften auszuweisen
b) den Arbeitskräfteeinsatz in Abhängigkeit vom Umfang und der Struktur des Grundfondsbestandes zu analysieren.

4. Modell

Mit den in den Abschn. 2. und 3. erfolgten Modellerweiterungen ergibt sich auf der Grundlage der in [1] angegebenen Modellhypothesen das Modell. Dabei wurde entsprechend den vorliegenden Bedingungen die Entwicklung der Arbeitskräfte für jede Aufkommensquelle als bekannt vorausgesetzt. Die Grundfondsbestände im Planzeitraum sind von den vorgesehenen Investitionen I_t und Aussonderungen H_t abhängig. Im weiteren wird mit G_t der Anfangsbestand an Grundmitteln und mit U_t der Anfangsbestand der unvollendeten Investitionen im Jahr t bezeichnet. Dann gelten folgende Bilanzen:

$$G_{t+1} = G_s - H_t + F_t \,, \qquad U_{t+1} = U_t - F_t + I_t \,. \tag{6}$$

Zur Modellierung der Zeitverzögerung zwischen dem Beginn und der Fertigstellung der Investitionen kann man annehmen, daß ein Teil (cU_t) des Bestandes an unvollendeten Investitionen im Verlauf des Jahres t aktiviert wird. Darüber hinaus ist i. allg. auch ein Teil (aI_t) der Investitionen eines Jahres noch im gleichen Jahr produktionswirksam. Bei einer anlagenbezogenen Modellierung kann im Gegensatz zum volkswirtschaftlichen Modell [2] nicht mit einer konstanten Aussonderungsrate gerechnet werden. Deshalb sind im weiteren die Aussonderungen neben den Investitionen als Entscheidungsvariable angenommen.

Entsprechend den Vorstellungen über die Entwicklung der Investitionen kann man meist den qualitativen Verlauf der Investitionen vorgeben. In [2] wurden zwei Ansätze vorgeschlagen. Weitere Untersuchungen (s. Abschn. 6) zeigten, daß die Menge der zulässigen Investitionsentwicklungen für den gewählten Anwendungsbereich auf solche mit konstantem Zuwachs eingeschränkt werden kann, d. h.

$$I_t = I^0 \left(1 - \frac{t}{T_1}\right) + I^1 t \,, \qquad t \in [0, T_1] \,. \tag{7}$$

Es ergeben sich somit Geraden mit frei wählbaren Anfangs- und Endwerten. Durch eine derartige Parametrisierung reduziert sich die Anzahl der Variablen erheblich.

Wie bereits im Abschn. 2. darauf hingewiesen wurde, benötigen wir zur Auswahl einer effektiven Aufkommensstruktur ein Effektivitätskriterium. Angewendet wurde

$$Z = \sum_{t=0}^{T_1} \sum_{k=1}^{n} z_k Y_{k,t} \to \max \,. \tag{8}$$

Dabei sind z_k Bewertungskoeffizienten, die im einfachsten Fall für alle Finalerzeugnisse $Y_{k,t}$ Eins gesetzt werden. In diesem Fall entspricht dem Zielkriterium maximale Finalproduktion im Planzeitraum. T_1 gibt den Optimierungshorizont an, und n ist die Anzahl der Aufkommensquellen.

Unter zusätzlichen Nichtnegativitätsbedingungen für alle Entscheidungsvariablen und gegebenenfalls noch zu formulierenden Bedingungen für die Nachplanperiode $[T_1, T]$ erhalten wir ein Problem der linearen Optimierung. Es wird die Variante ausgewählt, die die Restriktionen bezüglich der Finalproduktion und Ressourcen erfüllt und das Zielfunktional maximiert. Zu gegebenen Investitionen (als Investitionsangebot) und Aussonderungen lassen sich unter der Voraussetzung, daß alle Grundmittel voll ausgelastet sind, die Gesamtproduktionsmengen und hieraus die entsprechenden Finalproduktmengen ermitteln. Das Modell ergibt sich folgendermaßen

$$\left.\begin{aligned} &(i \in V_k;\ k = 1(1)\,n): \\ &\Delta G_{ik,t} = c_k U_{ik,t} + a_k \left(I_{ik}^0 \left(1 - \frac{t}{T_1}\right) + I_{ik}^1 t\right) - H_{ik,t} \,, \\ &\Delta U_{ik,t} = -c_k U_{ik,t} + (1 - a_k) \left(I_{ik}^0 \left(1 - \frac{t}{T_1}\right) + I_{ik}^1 t\right), \end{aligned}\right\} \tag{6a}$$

$$\begin{aligned} \Delta X_{ik,t} = {} & -b_{ka} H_{ik,t} + b_{kn} \times \\ & \times \left(c_k U_{ik,t} + a_k \left(I_{ik}^0 \left(1 - \frac{t}{T_1}\right) + I_{ik}^1 t\right)\right) \end{aligned} \tag{3a}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_{ik,t} \geqq {} & -a_{ka} H_{ik,t} + a_{kn} \times \\ & \times \left(c_k U_{ik,t} + a_k \left(I_{ik}^0 \left(1 - \frac{t}{T_1}\right) + I_{ik}^1 t\right)\right), \end{aligned} \tag{4a}$$

$$\left.\begin{aligned} &X_{k,t} = \sum_{i \in V_k} X_{ik,t} \,, \\ &Y_{k,t} = X_{k,t} - \sum_{j \in N_k} p_j X_{kj,t} \,, \end{aligned}\right\} \tag{2a}$$

$$\left.\begin{aligned} &Y_{k,t} \geqq \overline{Y}_{k,t} \,, \qquad t = 0(1)\,T \\ &\sum_{k=1}^{n} h_{jk} Y_{k,t} \leqq K_{j,t} \,, \qquad j = 1(1)\,N_1 \,, \qquad t = 0(1)\,T \,, \\ &\sum_{k=1}^{n} \sum_{i \in V_k} \left(I_{ik}^0 \left(1 - \frac{t}{T_1}\right) + I_{ik}^1 t\right) \leqq J_t \,, \qquad t = 0(1)\,T \,, \\ &H_{ik}^u \leqq H_{ik,t} \leqq H_{ik}^o \,, \qquad i \in V_k \,, \qquad k = 1(1)\,n \,, \\ &\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad t = 0(1)\,T \,, \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

wobei Gl. (6a) die Investitionsdynamik und Grundfondsdynamik, Gln. (3a) und (4a) die Kapazitätszuwachsfunktionen, Gl. (2a) die variablen Kooperationsbeziehungen und Gl. (9) die Nebenbedingungen abbildet sowie

$\overline{Y}_{k,t}$ vorgegebene Finalproduktenentwicklung
J_t vorgegebene Investitionsschranke
h_{jk} Aufwandskoeffizienten der Ressourcenart j ($j = 1(1)\, N_1$) für eine Einheit des Erzeugnisses k
$K_{j,t}$ Kapazitätsschranke für Ressourcenart j
H^u_{ik}, H^o_{ik} untere und obere Schranke der Aussonderungen.

Es wurde ein entsprechendes PL-1 Programmpaket entwickelt, das die Generierung des linearen Optimierungsproblems entsprechend den Anforderungen von VOPS OPSI ermöglicht. Dieses Programm ist mit VOPS OPSI gekoppelt. Die ermittelten optimalen Investitionsentwicklungen und Aussonderungen gehen in ein Auswertprogramm ein, das die optimalen Trajektorien für die Aufkommensquellen bestimmt und einige ausgewählte Effektivitätskenngrößen ermittelt.

5. Identifikation

Die Parameterschätzung ist insbesondere in der Ökonomie eines der schwierigsten Probleme bei der Anwendung mathematischer Modelle. Oftmals sind theoretisch gut fundierte Modellansätze für praktische Anwendungen zu verwerfen, weil es nicht gelingt, die in ihnen enthaltenen Modellparameter unverzerrt und mit ausreichender statistischer Sicherheit zu schätzen. Ein Beispiel dafür ist die im Abschn. 3. erwähnte nichtlineare Produktionsfunktion nach *Cobb-Douglas*. Untersuchungen zur erforderlichen Schätzgenauigkeit auf der Grundlage der Empfindlichkeitstheorie [6] sollen hierzu theoretisch begründete Aussagen liefern.
Es wurden Identifikationsmethoden zur Parameterschätzung nichtlinearer und dynamischer Modelle auf der Grundlage des Maximum-Likelihood-Prinzips entwickelt [7] und zur Schätzung der Aktivierungskoeffizienten c, der Materialaufwandskoeffizienten m_{ij} u. a. angewandt. Dabei sind nicht nur die Punktschätzungen, sondern auch die entsprechenden Konfidenzellipsen ermittelt worden.
An dieser Stelle soll nur ausführlich auf die Parameterschätzung der Kapazitätszuwachsfunktionen eingegangen werden. Tafel 1 enthält für ausgewählte Industriebereiche die entsprechenden Schätzungen auf der Grundlage des Statistischen Jahrbuches [8]. Es ergeben sich generell die folgenden Aussagen:

1. Die Kennziffern b_a und b_n konnten für alle Industriebereiche mit hoher statistischer Sicherheit (96%) mit kleinen Konfidenzintervallen ($\pm K$) geschätzt werden. Für die Kennziffern a_n und a_a wurden bei gleicher statistischer Sicherheit teilweise sehr große Konfidenzellipsen erhalten.
2. Für alle Industriebereiche ist die je Einheit neuer Grundfonds in einem Jahr gebundene Arbeitskräftezahl wesentlich kleiner als die im gleichen Zeitraum je Einheit Grundfondsaussonderungen freigesetzte Arbeitskräftezahl.
3. Eine ähnlich eindeutige Aussage kann für die in einem Jahr je Einheit alter bzw. neuer Grundfonds mögliche Produktionskapazität nicht gemacht werden. Die erhaltenen Unterschiede, z. B. zwischen Chemischer Industrie und Energie- und Brennstoffindustrie, sind jedoch ökonomisch plausibel.
4. Die Intensivierung des gesellschaftlichen Reproduktionsprozesses findet in den untersuchten Industriebereichen ihren Ausdruck in der Senkung der in einem Jahr zur Bedienung einer Einheit Grundfonds notwendigen Arbeitskräftezahl, weniger in der Erweiterung der Produktionskapazität je Einheit Grundfonds im gleichen Zeitraum.

6. Testrechnungen

Für ausgewählte Strukturen der Metallurgie (aber auch der Volkswirtschaft) mit maximal 13 Aufkommensquellen und einem Optimierungszeitraum von $T_1 = 10$ Jahren wurden verschiedene Testrechnungen durchgeführt. Dabei ergaben sich maximal 143 Entscheidungsvariable bei 384 Nebenbedingungen.
In allen Fällen wurden ökonomisch plausible Lösungen erhalten. Da die Finalproduktion gegenüber dem Basisjahr nicht kleiner werden darf ($Y_{k,t} \geqq \overline{Y}_{k,0}$) und die Fondsaufwandskoeffizienten konstant sind, muß das Investitionsvolumen mindestens die Ersatzinvestitionen umfassen. Um die Änderung der Aufkommensstruktur in Abhängigkeit vom Investionslimit zu analysieren, wurde die Schranke J_t in Gl. (9) derart von einem Parameter λ abhängig gemacht, daß $J_t = J = (1 + \lambda)\, E$ gilt, wobei E die schärfste zulässige Investitionsbeschränkung darstellt und $\lambda \geqq 0$ ist. Damit ergab sich ein Problem der parametrischen Optimierung. Zur Realisierung auf der EDV-Anlage EC 1020 werden für 143 Entscheidungsvariable und 384 Nebenbedingungen etwa 30 min zur Ermittlung der ersten optimalen Lösung und 1 min für jeden Parameterschritt benötigt.
In allen Fällen ergab sich eine obere Grenze für die Investitionen, ab der sich die Struktur nicht mehr verändert und ein Zielfunktionszuwachs nicht mehr ereichbar ist. Eine Erhöhung des jeweiligen Investitionslimits über diesen Wert hinaus würde zu keiner Erhöhung der Finalproduktion führen, da die Arbeitskräfteressourcen oder auch andere beschränkende Ressourcen keine weitere Erhöhung der Produktion erlauben. Für ein konkretes Beispiel zeigt das Bild den Zielfunktionswert (Volumen der Finalproduktion) in Abhängigkeit vom Parameterwert λ bei konstanter und variabler Lieferstruktur. Offensichtlich wird bei variabler Lieferstruktur ohne Veränderung der Ressorcenbeschränkung eine weitere Erhöhung der Finalproduktion bei gleicher Investitionsschranke möglich sowie zusätzlich eine Erhöhung dadurch, daß die obere Grenze der Investitionen erst für größere λ erreicht wird. Das ist auf eine bessere Auslastung der Produktionskapazitäten bei variabler Lieferstruktur, d. h. auf eine Umverteilung der Vormaterialanforderungen, zurückzuführen.

Tafel 1. Koeffizienten a_a, a_n, b_a und b_n der Kapazitätszuwachsfunktionen für ausgewählte Industriebereiche sowie deren Konfidenzintervalle bei einer statistischen Sicherheit von 96% (b_a, b_n in Mark/Mark; a_a, a_n in 1000 Arbeitskräfte/Mill. Mark)

	a_a	$\pm K(a_a)$	b_a	$\pm K(b_a)$	a_n	$\pm K(a_n)$	b_n	$\pm K(b_n)$
Energie- und Brennstoffindustrie	0,008	0,0001	0,48	0,012	0,0025	0,00010	0,33	0,006
Metallurgie	0,018	0,0036	1,01	0,028	0,0058	0,00042	1,12	0,034
Chemische Industrie	0,015	0,0002	0,56	0,008	0,0032	0,00022	0,66	0,006
Maschinen- und Fahrzeugbau	0,042	0,0008	1,33	0,036	0,0137	0,00116	1,33	0,028
Leichtindustrie	0,045	0,0006	1,21	0,038	0,0169	0,00120	1,33	0,062
Baumaterialienindustrie	0,020	0,0005	0,45	0,017	0,0092	0,00052	0,53	0,021
Lebensmittelindustrie	0,023	0,0004	2,60	0,042	0,0112	0,00058	2,31	0,060
Elektrotechnik/Elektronik/Gerätebau	0,071	0,0022	1,44	0,038	0,0306	0,00108	1,49	0,050

Tafel 2. Finalproduktion einer Aufkommensquelle bei Optimierung mit und ohne Parametrisierung der Investitionen in kt

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mit	755	755	767	782	798	814	829	842	854	864	872
ohne	755	769	788	799	809	820	831	842	854	866	878

Tafel 3. Kapazitätsreserven mit und ohne Parametrisierung der Investitionen in Prozent

Aufkommens-quelle	t				
	0 ...	7	8	9	10
	ohne				
Q_1	0	0	0	0	0
Q_2	0	0	0	0	0
Q_3	0,81	0	0	0	0
Q_4	1,20	0	0	0	0
Q_5	0	0	0	0	0
Q_6	0	2,45	2,38	2,09	1,52
	mit				
Q_1	0,77	0	0	0,34	0,77
Q_2	0,86	0,08	0,02	0	0,02
Q_3	0,47	0	0	0,17	0,43
Q_4	1,41	0,19	0,15	0,02	0
Q_5	0,76	0	0	0	0,09
Q_6	0,17	0	0	0,25	0,62

In allen Varianten wird dabei ab einer bestimmten Höhe der bereitgestellten Investitionen J_t die Beschränkung der Investitionsmenge nur noch am Anfang der Planperiode wirksam. Der Rückgang der Gesamtinvestitionen in den letzten Perioden des Planzeitraums ist für Optimalaufgaben ohne zusätzliche Mindestforderungen bezüglich der Investitionen oder Gesamtproduktion in der Nachplanperiode und einer Zielfunktion „maximale Nettoendproduktion" typisch.

Bild. Zielfunktionswert $z(\lambda)$ in Abhängigkeit vom Parameter $\lambda (z\delta = z(\lambda)/z(0))$
a) bei konstanter Lieferstruktur
b) bei variabler Lieferstruktur

Infolge der Zeitverzögerungen werden Investitionen in den letzten Perioden nicht mehr produktionswirksam und tragen somit nicht zu einer Zielfunktionserhöhung bei. Da die vorgenommene Parametrisierung nur Geraden als Investitionsentwicklungen zuläßt, ergeben sich zwangsläufig monoton fallende Geraden. Bei Aufhebung der Parametrisierung würde an dieser Stelle ein sprungförmiges Abfallen der Investitionen zu verzeichnen sein. Dieser Verlauf ändert sich, wenn entsprechende Forderungen für die Nachplanperiode erhoben werden.

Zur Untersuchung der Verluste, die durch die vorgenommene Parametrisierung der Investitionen entstehen, wurde für 13 Aufkommensquellen alternativ die Gesamtproduktion als Problemvariable der Optimalaufgabe gewählt. Der Vergleich der Optimierung mit und ohne Parametrisierung zeigt, daß für die untersuchten Varianten der Optimalitätsverluste durch Parametrisierung der Investitionen in Kauf genommen werden kann. Bei großen und sprunghaften Änderungen einiger Parameter, die in der Wirtschaftspraxis kaum möglich sind, kann jedoch eine Parametrisierung allein mit 2 Parametern zu grob sein.

Tafel 2 zeigt für eine Aufkommensquelle die optimale Entwicklung, die sich bei Optimierung mit und ohne Parametrisierung ergibt. In Tafel 3 ist für verschiedene Aufkommensquellen die Kapazitätsauslastung in Prozent angegeben. Offensichtlich wurde ohne Parametrisierung für die Aufkommensquellen 1–5 eine vollständige Auslastung erreicht, während bei Parametrisierung Reserven von weniger als 1% übrig bleiben, die als zusätzliche Endproduktion der entsprechenden Aufkommensquellen auftreten. Die unterschiedlichen Reserven in der Basisperiode entstehen dadurch, daß bei Parametrisierung von festen Anfangswerten ausgegangen werden mußte. Insgesamt wurde ohne Parametrisierung eine bessere Auslastung der Finalproduktquellen erreicht, wobei jedoch die Differenz nicht erheblich ist. Unter Beachtung der Anzahl von Aufkommensquellen überwiegt daher der Vorteil der Aufwandsreduzierung bei der Optimierung mit Parametrisierung.

Literatur

[1] *Matthes, B.; Müller, J.-A.:* Zum Prozeß der mathematischen Modellbildung (am Beispiel der dynamischen Modellierung eines ökonomischen Systems). msr 17 (1974) H. 9, S. 312–314; msr 18 (1975) H. 2, S. 63–66.

[2] *Müller, J.-A.; Matthes, B.:* Zur optimalen Steuerung einer Klasse dynamischer Systeme (Bestimmung optimaler Investitionsstrategien in volkswirtschaftlichen Systemen). msr 21 (1978) H. 4, S. 217 und 218.

[3] *Geiger, F.:* Ein Modell der langfristigen Planung in der Schwarzmetallurgie der DDR. Neue Hütte (1975) H. 4, S. 200–204.

[4] *Matthes, B.:* Zur Anwendung von Produktionsfunktionen. Wissenschaftliche Zeitschrift, Hochschule für Ökonomie Berlin (1978) H. 4, S. 30–37.

[5] *Matthes, B.; Geiger, F.:* Verflechtungsbilanzen mit variablen Lieferbeziehungen. VI. Wissenschaftliche Tagung Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie (MKÖ VI.), Rostock 1980.

[6] *Stopp, W.:* Fehlerfortpflanzung in Verflechtungsmodellen und Anforderungen an die Genauigkeit der Koeffizienten. Forschungsinformation der Sektion Leitung, Informationsverarbeitung und Statistik, Hochschule für Ökonomie Berlin (1980) H. 3.

[7] *Müller, J.-A.; Matthes, B.:* Anwendung von mathematischen Suchverfahren bei der Planung von Modellexperimenten zur Lösung ökonomischer Aufgaben. 21. Internationales Kolloquium der TH Ilmenau 1976, S. 151–152.

[8] Statistisches Jahrbuch 1977 der Deutschen Demokratischen Republik. Herausgegeben von der Staatlichen Zentralverwaltung für Statistik. Berlin: Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik 1977.

msr 7315

Dipl.-Ing. *W. Frohberg*, Weißandt-Gölzau[1])

Meßwerterfassung und -verarbeitung an Extrusionsanlagen mit Hilfe eines Prozeßrechners R 4000/R 4200

IA 4.0.5.; 5.6.4.

0. Einleitung

Im Folienbetrieb des VEB Orbitaplast werden auf etwa 60 Extrudern Blasfolien aus Polyäthylen im durchgehenden Schichtbetrieb hergestellt. Es sind verschiedene Typen von Blasfolienanlagen sowohl hinsichtlich Größe als auch Hersteller installiert. Jeder Extruder hat einzelne Heizzonen, die mit Elektroenergie beheizt werden. Jede Heizzone hat einen getrennten Regelkreis. Der Anlagenfahrer hat die Aufgabe, manuell alle 2 h die Temperaturen sowie die Parameter Drehzahl der Schnecke und Abzugsgeschwindigkeit der Folie zu überprüfen und zu protokollieren. Das bedeutet bei Mehrmaschinenbedienung einen relativ hohen Arbeitsaufwand. Gleichzeitig erscheinen im Protokoll des Extruders noch Lauf- und Stillstandszeiten.

Ein Kollektiv des Betriebes hatte die Aufgabe, diese manuelle Tätigkeit durch Einsatz eines Prozeßrechners abzulösen. Als Prozeßrechensystem stand, durch andere Aufgaben bedingt, der Prozeßrechner R 4000, gekoppelt mit einem R 4200 mit Trommelsteuergerät [2] und Trommeln als externem Speicher, ein Standardinterface-System mit Standardeingabe- und -ausgabegeräten und halbautomatischem Datenerfassungssystem (HADES) mit dezentraler Abfrageeinheit (DZA) und Datenendplätzen (DEP) sowie eine Prozeßeinausgabeeinheit (PEA) ursadat 4000 mit Prozeßdatenein- und -ausgängen zur Verfügung [3].

1. Meßwerterfassung am Extruder durch Prozeßrechner

Entsprechend der Aufgabenstellung wurden nachfolgende Meßstellen für die Überwachung durch den Prozeßrechner vorgesehen:

— alle Temperaturmeßstellen der Extruder
— Drehzahl der Schnecke
— Abzugsgeschwindigkeit der Folie.

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Extruders mit allen örtlichen Meßstellen.

Die Erfassung der Rohstoffbeschickung sowie die Fertigproduktionsabrechnung waren nicht Bestandteil dieses Vorhabens [1].

Die Temperaturmeßstellen des Extruders sind mit Einfachmeßfühlern der Typen Feko bzw. Pt 100 ausgerüstet. Hier wurden handelsübliche Doppelfühler der Typen S 457, S 857 eingesetzt. Durch geringfügigen Umbau und Einsatz einer Klemmleiste konnten die Temperaturmeßstellen im Extruderschrank zentral zusammengefaßt werden.

Zur Erfassung der Drehzahl- und Abzugsgeschwindigkeitsmessung standen Tachogeneratoren mit Wechselstrom- und Gleichstromausgang der Endwerte von 8—120 V zur Verfügung.

Um die unterschiedlichen Spannungen auf einen Pegel von 200 mV umsetzen zu können, wurde eine Leiterkarte entwickelt, die durch Gleichrichtung und Widerstandsteilung diese Forderung erfüllte. Für die Auslegung der PEA ergaben sich damit etwa:

450 Temperaturmeßstellen Pt 100 bzw. 10 mV
60 Drehzahlmeßstellen 200 mV
60 Abzugsgeschwindigkeitsmeßstellen 200 mV.

Unter Beachtung ökonomischer Aspekte (ein Vorverstärker 10 mV-Meßstellen für Feko kostet etwa 10 TM) wurde folgender Aufbau der Meßwertabfrage gewählt:

An zwei Extrudern befindet sich eine Durchschalteinheit, die mit Relaiskarten (EARID-Relais RGK 30/2) bestückt ist. Jede Relaiskarte hat 5 Relais, so daß je Karte 5 Meßstellen zweipolig durchgeschaltet werden können (Bild 2). Von Durchschalteinheit zu Durchschalteinheit ist ein Sammelleitungssystem installiert worden. Es ermöglicht den Anschluß von 10 Pt 100- und 8 Feko-Meßstellen. In einem Zentralschrank laufen alle parallel geschalteten Leitungen zusammen. Ein Sammelkabel führt vom Zentralschrank zur PEA des Prozeßrechners. Somit werden für die Erfassung aller Temperaturmeßstellen nur 10 Karten für Pt 100-Eingang und 8 Stück 10 mV-Vorverstärker benötigt.

Die Erfassung ist wie folgt aufgebaut: Der Prozeßrechner gibt über die PEA eine Bit-Kombination (entspricht einem Extruder) aus, die im Zentralschrank über eine Relaisschaltung dekodiert wird. Von hier aus wird eine bestimmte Durchschalteinheit angewählt, die ihrerseits alle Meßstellen des Extruders an die Sammelleitungen schaltet. Der Prozeßrechner erfaßt nach einer gewissen Einschwingzeit (10 s) die Analogwerte des Extruders. Mit Hilfe einer Datei und Generierungsliste findet die Auswertung und Bewertung der einzelnen Meßwerte statt. Aufgrund des kontinuierlich verlaufenden Produktionsprozesses findet die Erfassung der Analogwerte alle 30 min zeitzyklisch statt. Eine Erfassung alle 15 min wäre vom Systemaufbau her möglich. Da aufgrund der Meßstellenanzahl an einigen Extrudern die angeschlossenen 10 Pt 100- bzw. 8 Feko-Meßstellen nicht ausreichen, ist für diese Maschinen eine Doppelabfrage vorgesehen.

2. Maschinenlaufzeitüberwachung

Alle Extruder werden mit Hilfe einer Störgrundtastatur auf Lauf- und Stillstandszeiten überwacht. Der Laufkontakt der Maschine wird durch das Hauptschütz des Antriebsmotors der Schnecke bzw. durch die Abzugsvorrichtung der Folienbahn gebildet. Dieser Kontakt wird durch den Prozeßrechner abgefragt. Dazu wird jede Maschine im Rhythmus einer Minute angewählt (DAS-Kanal) und über DES-Kanal der PEA erfaßt. Die Abfragespannung wird für jeweils 6—10 Anlagen (ein Einrichterbereich) einmal abgesichert.

Außer dem Laufkontakt des Extruders werden durch den Prozeßrechner noch folgende Störgründe, die durch das Bedienpersonal einzustellen sind, abgefragt:

0. Produktion
1. Betriebsbereit
2. Störung mechanisch
3. Störung elektrisch
4. Störung BMSR
5. Produktionsvorbereitende Instandhaltung
6. Siebversatz
7. Qualitätsmängel
8. Maschine steht auf Anweisung

Über einen Taster werden nach Erreichen der eingestellten Fahrparameter beim Anfahren des Extruders dem Rechner die

[1]) Mitteilung aus dem VEB Orbitaplast, Gruppe Steuerungs- und Regelungstechnik.

gerade anliegenden Meßwerte als Sollwerte vorgegeben (PU-Signalverarbeitung). Da alle Störgrundtastaturen auf einen DES-Kanal geschaltet sind, ist eine Diodenentkopplung aller Störgrundleitungen unbedingt notwendig.
Durch Ausgabe eines Bit der PEA schaltet der Prozeßrechner direkt an eine Störgrundtastatur Spannung auf und kann somit die an der Sammelleitung anliegenden Informationen auswerten. Der Abfragezyklus ist hier auf 1 min festgelegt.
Entsprechend der während einer Schicht aufgetretenen Störgründe ist der Prozeßrechner in der Lage, im Schichtprotokoll listenförmig die Ausfallzeiten auszudrucken.

3. Prozeßeingabe- und -ausgabeeinheit (PEA)

3.1. Digitalausgabeeinheit, statisch (DAS)

Je Wort eines Kanals der PEA können 16 Störgrundtastaturen angewählt werden. Für die Anwahl der Analogwerte der Extruder ist ein Wort ausreichend, da eine Dekodierung im Zentralschrank stattfindet.

3.2. Digitaleingabe, statisch (DES)

Für die Erfassung der Laufzeiten der Extruder werden 4 Kanäle benötigt. Die Störgrunderfassung läuft als Sammelkanal über 1 Wort (Reservebits vorhanden).

3.3. Analogeingänge 200 mV

Da auch hier das Sammelleitungsprinzip angewendet wird, werden insgesamt für alle Extruder benötigt:

1 Meßstelle — Abzugsgeschwindigkeitsmessung
1 Meßstelle — Schneckendrehzahlmessung.

3.4. Analogeingänge 10 mV

Für 8 die Feko-Sammelleitungen werden 8 Vorverstärker 10 mV verwendet, die den Meßwert auf 200 mV umsetzen (Eingangspegel des Zentralverstärkers).

3.5. Brückenschaltung für Pt 100-Meßstellen

Für die 8 Auswertung der Pt 100-Meßstellen an allen Extrudern sind 10 Brückenschaltungen aufgebaut, die von einem stabilisierten Netzteil mit 24 V-Gleichspannung betrieben werden. Die Brücke ist für Widerstandsänderungen von 190 Ω bis 212,08 Ω (273 K bis 573 K) ausgelegt. Die Temperatur von 573 K wird in einen Spannungswert von 200 mV gewandelt und dem Zetralverstärker zugeführt. Die Nichtlinearität des Pt 100-Meßfühlers wird programmtechnisch durch Unterteilung in 3 Bereiche: 273 K bis 373 K, 373 K bis 473 K, 473 K bis 573 K weitgehend unterdrückt.
Die Tafel zeigt alle Meßstellen sowie ihre Meßbereiche als Übersicht.

Bild 1. Meßwerterfassungsschema des Blasfolienextruders
F Menge; *T* Temperatur; *S* Drehzahl; X_D Durchmesser; X_I Strommessung; *I* Anzeige; *A* Alarm; *C* Regelung; *R* Registrierung; *H* Handsteuerung; D_I vom Rechner erfaßt

Bild 2. Prinzipschaltbild Durchschaltung

Tafel. Zuordnung von Meßbereichen (PEA-Eingang) und Meßwertgebern zu den Prozeßgrößen

Meßbereich PEA-Eingang	*Meßwertgeber*	*Prozeßgröße*
−200 mV bis +200 mV	Tachometergenerator	Schneckendrehzahl, Abzugsgeschwindigkeit
−10 mV bis +10 mV	Thermoelement	Zylinderzonen-, Kopfzonen-, Massetemperatur
Brückenschaltung	Widerstandsthermometer	Zylinderzonen-, Kopfzonentemperatur
digitaler statischer Eingang DES 24 V	Stufenschalter	Stellung Störgrundtastatur
	Relaiskontakt am Aggregat	Signal „Aggregat steht" bzw. „Aggregat läuft"
digitaler statischer Ausgang DAS 24 V	Relaiskontakt an PEA	Auswahl einzelner Aggregate für Störgrundtastaturabfrage und Meßstellenüberwachung
digitaler dynamischer Eingang DED — U 24 V	Taster am Aggregat	Signal „Sollwertübernahme"

4. „Prüfextruder"

Zur Überprüfung sämtlicher Analogmeßstellen wurde ein sog. „Prüfextruder" aufgebaut. Im Zentralschrank befindet sich für jede Pt 100-Meßstelle ein Prüfwiderstand und für jede Feko-Meßstelle ein Thermostat einschließlich einer Konstantspannungsquelle. Für Abzugsgeschwindigkeits- und Drehzahlmessung ist je eine Festspannung installiert.
Diese Prüfwiderstände bzw. -spannungen werden genauso vom Prozeßrechner über eine Durchschalteinheit zyklisch abgefragt wie die Meßstellen eines Extruders.
Dadurch ist es möglich, auf Fehler folgender Strecken schließen zu können:

1. Sammelleitungen
2. Zentralthermostate
3. PEA-Eingangskanäle einschließlich Karten
4. Programmlauf.

5. Probleme bei der Inbetriebnahme

Nachdem ein Teil der Extruder an den Rechner angeschlossen war, zeigten sich bei der Inbetriebnahme folgende Probleme: Die Tememperaturmeßstellen, deren Meßfühler Fe-Ko-Thermoelemente sind, zeigten stabiles Verhalten, die vom Rechner ausgedruckten Werte stimmen mit den örtlich nachgemessenen überein.
Die Temperaturmeßstellen, deren Meßfühler Pt 100-Meßwiderstände sind, zeigten nach kurzer Betriebsdauer Abweichungen zwischen örtlich nachgemessenen Werten und Rechnerausdruck von +10 bis +25 K. Das deutete auf Widerstandserhöhung außerhalb der Meßwiderstände hin. Untersuchungen ergaben, daß die Kontaktwiderstände der RGK-Relais zwischen 0,2 und 10 Ω schwankten. Rückfragen beim Hersteller bestätigten, daß die eingesetzten Rhodiumkontakte für diesen Einsatzfall nicht geeignet sind. Sie wurden gegen Kontakte ZM-107/III-Wolfram ausgetauscht. Bisher sind die Ergebnisse zufriedenstellend.
Bei der Abfrage der über einem Widerstand abfallenden Spannung der Drehzahl- und Abzugsgeschwindigkeitsmessung druckte der Rechner aufgrund von Störspannungen zu hohe Werte aus. Erst nachdem die Tachogeneratoren mit minimal möglichem Widerstandswert belastet worden sind (200 mV an max. 200 Ω), wurden übereinstimmende Werte mit der örtlichen Prüfmessung erzielt.

6. Schlußfolgerungen

Im VEB Orbitaplast wurde durch dieses Vorhaben der erste Versuch zur zentralen Überwachung von Extrusionsanlagen unternommen. Die Ergebnisse sind entsprechend den technischen Möglichkeiten zufriedenstellend.
Nachteilig beim aufgebauten System ist, daß bei Rechnerausfall die Überwachung ausfällt. Aus ökonomischen Erwägungen heraus ist jedoch ein Rechnerparallelbetrieb nicht vertretbar.
Mit der Entwicklung der Mikrorechentechnik eröffnen sich für diese Art von Aufgaben neue Wege, wobei die oben genannten Nachteile vermieden werden können.

Literatur

[1] *Barleben, P.; Kaden, B.; Juch, M.:* Automatische Produktionserfassung und Abrechnung durch die Kopplung Verwiegestation — Prozeßrechner. msr 23 (1980) H. 3, S. 136 und 137.

[2] *Engelhardt, D.; Glauch, R.; Pätzold, H.; Poppe, K.-D.:* Rechnerkopplung zwischen R 4000 und einem R 4200. rechentechnik/datenverarbeitung 17 (1981) H. 9, S. 28.

[3] *Dorsch, H.-Th.:* Automatische Überwachung von Blasfolienanlagen mit Hilfe eines Prozeßrechnersystems. Plaste und Kautschuk 27 (1980) H. 12, S. 693–698.

msr 7311

Ing. *B. Drewitz*, Schulzendorf[1])

Ultraschall-Laufzeitmessungen hoher Genauigkeit

IA 3.2.2.

1. Übliche Verfahren für Ultraschall-Laufzeitmessungen

Zwei grundlegende Verfahren für Laufzeitmessungen von Schall bestimmen die praktischen Anwendungen:
Beim ersten Prinzip wird die Laufzeit eines Impulses oszillografisch oder digital bzw. durch Kombination beider Möglichkeiten ermittelt. Bei vertretbarem Aufwand ist die Genauigkeit nicht sehr hoch. Vor allem sind hier Grenzen gesetzt in den Probenabmessungen, deren Schall-Laufzeiten sehr viel größer sein müssen als die Flanken-Anstiegszeiten der verwendeten Meßimpulse.
Das zweite Verfahren besteht in einer Phasenmessung. Hierbei wird eine Sinusspannung über die Probe verzögert und die Phasendifferenz zwischen verzögertem und unverzögertem Signal gemessen. Unter speziellen Bedingungen, z. B. mit der Nullstellenmethode [1], läßt sich die Phase mit einem Fehler von weniger als einem Grad ermitteln. Bei einer Meßfrequenz von 4 MHz bedeutet dies eine Abweichung um etwa eine halbe Nanosekunde, bei 50 µs Gesamtlaufzeit einen Meßfehler von $1 \cdot 10^{-5}$. Nachteilig ist die Mehrdeutigkeit dieser Messung, zumal bei großen Meßwertstreuungen. Nur durch erhöhten Zeitaufwand beim Messen (Differenzmessungen über eine Reihe auszuzählender Nullstellen hinweg) läßt sich die Mehrdeutigkeit verhindern.
Dieser Meßmethode haftet noch ein anderer Mangel an, der vielfach übersehen wird:
Alle Schallmessungen beruhen auf Proben endlicher Abmessungen, die naturgemäß an den Grenzflächen oder auch an sonstigen Störstellen Echos hervorbringen. Durch bestimmte Maßnahmen lassen sich diese Störungen zwar reduzieren, aber nicht völlig vermeiden. Durch die i. allg. undefinierte Phasenlage der Störechos können diese sich den Meßspannungen unkontrolliert überlagern und damit das Meßergebnis verfälschen.

---

[1]) Neuerervorschlag, eingereicht beim VEB Jenaer Glaswerke im VEB Kombinat Carl Zeiss JENA.

Bild 1. Prinzipschaltbild Ultraschall-Laufzeitmessung mit HF-Schwingungspaketen

Bild 3. Sender-Doppelimpuls (a) und verzögerter Doppelimpuls (b)

Bild 2. Burst-Doppelimpuls
a) Impulslänge etwa 10μs, Taktfrequenz 1 MHz
b) gedehnt und verstärkt; Impulslänge 3,5 μs, Frequenz etwa 4 MHz

Bild 4. Teilweise Addition von Sendeimpuls und verzögertem Impuls

Ein Beispiel, bei dem die Echos optimal unterdrückt werden, bilden die Chrominanz-Verzögerungsleitungen in Farbfernsehgeräten. Sie bringen selbst bei Addition der Einzelechos immer noch 22 dB Echodämpfung. Dies bedeutet aber bei ungünstiger Überlagerung der Störamplituden mit dem Hauptsignal einen Phasenmeßfehler von 5° (≙ 3 ns bei 4,4 MHz), also dem Fünffachen des vorher angeführten theoretischen Wertes. Dies stellt allerdings nur den Maximalfehler dar, der bei ungünstigsten Phasenlagen aller Echos auftreten kann. Da sich die Echophasenlagen bei der Nullstellenmethode nicht erfassen lassen, muß bei Fehlerbetrachtungen mit dem ungünstigsten Wert gerechnet werden.

Bei allgemeinen praktischen Messungen läßt sich die Echodämpfung aber überhaupt nicht derartig weitreichend optimieren. Hier sind Echoamplituden üblich, die teilweise über den Werten des Nutzsignals liegen. Dies ergibt nicht nur theoretisch sehr große Phasenmeßfehler. Praktisch ist die Nullstellenmethode in solchen Fällen nicht anwendbar, weil beim Verändern der Meßfrequenz während des Meßvorgangs sich auch die Phasenlagen der Echos ändern und die daraus resultierenden Amplitudenschwankungen ein Auszählen der Nullstellen verhindern.

2. Ultraschallmessungen mit HF-Schwingungspaketen

Ein von den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Methoden abweichendes Meßverfahren [2] ist offensichtlich weniger bekannt. Es stellt die Kombination einer Phasenvergleichsmessung mit dem Impulsverfahren dar. Diese Variante vereint die Präzision der Phasenvergleichsmethode mit der Einfachheit und Eindeutigkeit der Impulsmessung. Meßwertverfälschungen durch Echos sind vermeidbar. Das Prinzipschaltbild dieses Verfahrens zeigt Bild 1.

Ein Taktgenerator veränderbarer Frequenz steuert einen Rechteckimpulserzeuger an. Die Vorderflanken der im jeweils eingestellten Takt gebildeten Rechteckimpulse lösen den Kippablauf des Oszilloskops aus. Die gesamte Länge der Rechteckimpulse tastet einen HF-Generator in der Weise, daß mit jedem Impuls die Hochfrequenz exakt mit der gleichen Phasenlage beginnend ein Bündel Sinusschwingungen (Burst) erzeugt. Mit dem Ende des Rechteckimpulses wird auch die Sinusschwingung abgebrochen.

Die Burstimpulse gehen auf den senderseitigen Ultraschallwandler, der die der Hochfrequenz entsprechenden Ultraschallschwingungen an die Probe weitergibt. Der empfangsseitige Ultraschallwandler formt den verzögerten Ultraschall wieder in elektrische Schwingungen um und gibt sie auf den Eingang des Differenz-Meßverstärkers. Der zweite (Gegentakt-) Eingang dieses Verstärkers wird durch den in der Amplitude einstellbaren unverzögerten Burstimpuls angesteuert. Das dem Verstärker nachgeschaltete Oszilloskop zeigt die Differenz der beiden Hochfrequenzspannungen an.

Bild 2a zeigt an einem praktisch realisierten Beispiel zwei Einzelimpulse einer Burstfolge. Die Hochfrequenz liegt bei 4 MHz, die Impulslänge beträgt 10 μs. Bild 2b löst den ersten der beiden Impulse zeitlich weiter auf. Auch hier ist die Frequenz 4 MHz, die Impulslänge aber nur etwa 3,5 μs.

Bild 3a gibt die Sendeimpulse 1 und 2 vereinfacht wieder, Bild 3b die gleichen Impulse nach dem Durchlaufen der Probe. Bei entsprechender Einstellung der Taktfrequenz fällt der erste verzögerte Impuls zeitlich mit dem zweiten unverzögerten Impuls zusammen. Bei Deckungsgleichheit der Impulse entspricht der Kehrwert der Taktfrequenz der Laufzeit des Schalls in der Probe. Die hohe Genauigkeit der Messung ergibt sich daraus, daß die im Bild 3 nur angedeuteten Impulse sich aus einzelnen Schwingungen entsprechend Bild 2b zusammensetzen. Jede einzelne Schwingung des verzögerten Impulses muß im Differenzverstärker durch jede Einzelschwingung des unverzögerten Impulses ausgelöscht werden. Eine exakte Auslöschung kann nur erfolgen bei gleichzeitiger Optimaleinstellung nicht nur der Taktfrequenz, sondern auch der Amplitude des unverzögerten Impulses mit Hilfe des Dämpfungsreglers.

Mit dieser Phasenvergleichs- und Nullspannungsmethode läßt sich eine Auflösung von 0,1 ... 0,2° der HF-Periode erreichen. Bei 4 MHz bedeutet dies eine Meßwertauflösung von etwa 0,1 ns, bei einer Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls im Medium von 2500 m/s entspricht das einer Wegdifferenz von 0,25 μm.

Beim groben Verändern der Taktfrequenz ist das Überlappen von Orginal- und Verzögerungsimpuls dadurch gekennzeichnet, daß das Differenzsignal sich durch die Taktfrequenzänderung zunächst teilweise addiert bzw. subtrahiert, je nach den Phasenlagen zueinander. Bild 4 zeigt den Sendeimpuls, der etwa die vorderen 2/3 der Gesamtschwingung ausmacht, und den verzögerten Impuls, der die hinteren 2/3 einnimmt. Während des mittleren Drittels addieren sich die beiden Spannungen aufgrund ihrer Gleichphasigkeit (bzw. Gegenphasigkeit vor dem Differenzverstärker).

Die optimale Minimierung bei dem Beispiel einer Glasprobe zeigt Bild 5. Hier werden auch die Grenzen des Verfahrens sichtbar. Gute Auslöschung der Signale und damit eine hohe Meßgenauigkeit ergeben sich nur bei oberwellenarmen Burstimpulsen. Die im Bild 5 in der Mitte noch vorhandene Restwelligkeit stellt die erste Oberwelle der Grundschwingung dar. Sie läßt sich nicht auslöschen. Die Schwingungen am Anfang und am Ende des Impulses entstehen durch Verzerrungen im Wandler und/oder der Probe, z. B. durch zu geringe Bandbreite.

Für den Grobabgleich sind Anfang und Ende des Impulses wichtig, hier sind die Amplituden zuerst von Nullstelle zu Nullstelle zu minimieren. Der Feinabgleich orientiert auf den mittleren Teil der Funktion. Hier ist die Grundwelle entsprechend Bild 5 auf Minimum zu bringen. Bild 6 zeigt im Vergleich zu Bild 5 einen noch unvollständigen Abgleich des Mittelteils. Der Restfehler beträgt hier $\leqq 1$ ns bei einer Gesamtlaufzeit von über 50 μs.

Entscheidend für die Genauigkeit der Messung sind noch die Wandlerpolarität und die R-L-C-Kombinationen im direkten oder im verzögerten Kanal, weil dadurch Phasenverschiebungen verursacht werden.

Bild 5. Vollständige gegenseitige Auslöschung von Sendeimpuls und verzögertem Impuls

Bild 6. Nicht vollständige Kompensation im mittleren Teil

Bild 7. Verpolter Wandler, Scheinminimum 90° unter echtem Minimum

Bild 8. Wie Bild 7, jedoch Scheinminimum 90° über echtem Minimum

Bild 9. Wiedergabe von 2 Doppelimpulsen, wobei der erste Impuls im Oszilloskop unterdrückt wird

Bild 10. Kontinuierliche Impulsfolge

Bild 11. 2. Sendeimpuls und 4 Echos vom 1. Sendeimpuls

Wandlerverpolungen lassen sich sehr schnell feststellen. Sie sind daran erkenntlich, daß sich kein exaktes Minimum einstellen läßt. Es gibt vielmehr zwei benachbarte Scheinminima entsprechend den Bildern 7 und 8. Sie unterscheiden sich von einem echten Minimum durch relativ große Restamplituden am Ende des Meßimpulses. Untereinander haben die Scheinminima in den Restamplituden eine Phasenverschiebung von 180°, in den Bildern 7 und 8 am Ende der Schwingung deutlich zu sehen. Nach Umpolen der Anschlüsse des sender- oder des empfängerseitigen Ultraschallwandlers ist das Minimum entsprechend Bild 5 abgleichbar.
R-L-C-Komponenten sind in den Meßkreisen immer vorhanden, z. B. in Form der Eigenkapazität der Wandler, als Schaltkapazitäten des Meßaufbaus u. dgl. Diese Einflußfaktoren lassen sich eliminieren, indem sie für die Meßfrequenz reell gemacht werden, und zwar durch entsprechende externe Schaltelemente induktiver oder kapazitiver Art.
Einfacher und genauer ist es, die Messungen mit speziellen Ultraschall-Meßköpfen durchzuführen, deren Eigenlaufzeit mit einer Vormessung am gleichen Gerät zu ermitteln ist, bevor der Prüfling eingefügt und die Endmessung durchgeführt wird. Nach dem Abziehen des Laufzeitwertes der Meßköpfe vom Endmeßwert liegt der exakte Laufzeitwert des Prüflings vor. Diese Methode eliminiert alle Phasenfehler der Meßanordnung.
Es wurde eingangs hervorgehoben, daß dieses Meßverfahren auch die Fehler zu unterdrücken vermag, die aus Störechos resultieren, die sich den Nutzimpulsen überlagern und deren Phasenlage verfälschen können. Die Echos werden bei der Impulsmethode dadurch unterdrückt, daß die verwendeten Burstimpulse kurz sind im Verhältnis zum Impulsabstand. Die Wahrscheinlichkeit, daß das Echo eines so kurzen Impulses genau in die Zeit des Nutzimpulses fällt, ist dann relativ gering. Bei kurzen Laufzeiten ist es trotzdem nicht völlig ausgeschlossen. Für derartige Fälle läßt sich das Verfahren ergänzen. In einer zwischen Taktgenerator und Rechteckimpulserzeuger eingefügten Zusatzschaltung werden von jeweils 10 Sendeimpulsen nur die Impulse 1 und 2 durchgelassen und die darauffolgenden 8 Impulse unterdrückt. Hinter dem zweiten Sendeimpuls, der mit dem ersten verzögerten Impuls zur Deckung gebracht werden muß, tritt damit eine „Sendepause" über acht Laufzeiten hinweg auf, so daß selbst diejenigen Echos wirkungslos bleiben, die durch die Reflexionen des Signals an den Enden des Prüflings diesen bis zu siebenmal durchlaufen haben. Mit dem Beginn des jeweils zweiten Sendeimpulses wird die Ablenkung des Oszilloskops gestartet. Das entsprechende Oszillogramm (ohne verzögerte Impulse vom Prüfling) zeigt Bild 9. Bild 10 gibt die Impulsfolge ohne Zusatzschaltung wieder.
Bild 11 zeigt ein typisches Echobild bei Verwendung von Meßköpfen für die sender- und die empfängerseitige Ankopplung der Ultraschallwandler an den Prüfling. Der erste Impuls stellt den in der Amplitude durch den Dämpfungsregler variablen zweiten Sendeimpuls dar. (Der erste Sendeimpuls wird entsprechend Bild 3 durch den verzögerten Triggerzeitpunkt des Oszilloskops unterdrückt.) Der zweite Impuls des Oszillogramms ist der durch die Probe verzögerte erste Sendeimpuls. Die Impulse 3 ... 5 im Bild 11 stellen Störechos dar, die sich durch Reflexion an den Koppelstellen Meßkopf/Prüfling ergeben. Sie sind verschliffener als das direkte Signal. Auch die Störreflexionen lassen sich in der Laufzeit sehr genau ausmessen, sofern dies notwendig erscheint.

3. Anwendungen

Mit einem Mustergerät, das nach dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Prinzip arbeitet, wurden Ultraschall-Laufzeiten an Glasproben verschiedener Querschnitte zwischen 0,1 und 20 cm^2 und Weglängen zwischen 25 und 200 mm ausgemessen. Es fanden keramische Ultraschallwandler des Kombinats VEB Keramische Werke Hermsdorf für den Frequenzbereich um 4 MHz Verwendung. Die Messungen waren möglich mit direkt auf die Proben gelöteten Wandlern wie auch mit separaten Meßköpfen, auf die die Wandler aufgelötet waren. Bei der Verwendung von Meßköpfen brachte eine sog. Koppelpaste zwischen den Meßköpfen und der Probe geringere Grunddämpfungswerte und damit größere Nutzpegel. Die Messungen ließen sich mit einem Fehler $\leq 1 \cdot 10^{-5}$ durchführen, ganz gleich, ob es sich um einen direkten Durchgang des Schalls durch das Medium handelte oder um Ein- oder Mehrfachreflexionen. Maximal wurden Echos nach achtmaliger Reflexion ausgemessen. (Nicht jedoch nach achtmaligem Durchlaufen der gesamten direkten Weglänge!) Das Mustergerät ermöglicht unter anderem die Bestimmung des Temperaturkoeffizienten der Ultraschall-Laufzeit im Glas. Die eingesetzten Wandler arbeiten mit Scherwellen. Andere Schwingungsformen sind sicher ebenso verwendbar, z. B. Longitudinalschwingungen mit Quarzschwingern. Auch an bestimmte Medien ist das Verfahren nicht gebunden. Alle anderen festen oder auch flüssigen Stoffe, sofern sie Ultraschall durchlassen, dürften für ähnliche Messungen ebenfalls geeignet sein. Bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit von Stoffen bietet sich die Methode auch für Längen-, Höhen- oder Dickenmessungen an. Mit keramischen Wandlern lassen sich Geber und Empfänger unterschiedlichster Abmessungen herstellen. Ultraschallwellen hoher Frequenzen lassen sich bereits mit relativ kleinen Wandlern gut bündeln, so daß Randeffekte eliminierbar sind und gute Wirkungsgrade erreicht werden. Andererseits ließen sich auch bis zu 60 dB im Prüfling abgeschwächte Impulse, wie sie bei Fehlanpassungen, bei großen Probenquerschnitten und geringer Bündelung oder beim Messen von Mehrfachreflexionen auftreten, mit dem Mustergerät ohne Schwierigkeiten ausmessen. Schallgeschwindigkeitsmessungen an festen Körpern ermöglichen auch die Bestimmung deren elastischer Konstanten.

Literatur

[1] *Köhler, A.; Rieger, W.:* Verfahren zur Laufzeitmessung an Verzögerungsleitungen bei PAL. Internationale Elektronische Rundschau (1966) H. 6.

[2] *Hoeben, H. L.:* Messungen an Ultraschall-Verzögerungsleitungen. Technisches Bulletin (1973) Nr. 18 (März) der Fa. GTE Sylvania.

msr 7401

Dr. sc. techn. *H. Gatzmanga*, Köthen[1])

Kopplung gasanalytischer Meßeinrichtungen mit dem Prozeß

IA 4.2.

0. Einleitung

Prozeßanalytische Meßeinrichtungen weisen funktionelle Parameter, eine Umgebungsbedingungsfestigkeit und kontruktive Parameter auf, die eine direkte Kopplung der Meßeinrichtungen mit dem Prozeß am oder in der Nähe des Meßortes in vielen Fällen ausschließen. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, über Entnahmeeinrichtungen eine repräsentative Probenmenge dem Prozeß zu entnehmen und sie einer Aufbereitung zu unterwerfen, die es gestattet, diese dem Prozeßanalysator zuzuführen, ohne dessen technische Parameter zu überschreiten. Ziel der Betrachtung soll sein, die wichtigsten Baugruppen zur Kopplung gasanalytischer Meßeinrichtungen mit dem Prozeß sowie Prinzipien ihrer Zusammenschaltung zur Meßanlage vorzustellen.

1. Probeentnahmeeinrichtungen

Die Entnahme des Meßgutes am Meßort erfolgt mit Probeentnahmeeinrichtungen — häufig Entnahmsonden genannt. Hierbei liegt der Meßort zwischen 50 mm bis 2000 mm von der den Prozeß abschließenden Wandung entfernt. Die Temperaturen schwanken zwischen —40 °C und 1800 °C. Hinzu kommt eine Staub- und Wasserdampfbelastung des Meßgutes, die zusätzlich korrodierend wirken kann und in verschieden komprimierter Form vorliegt. Prozeßanalysatoren arbeiten jedoch meist nur im Temperaturbereich von +5 °C bis +40 °C, sind staub- und kondenswasserempfindlich, haben eine geringe Druckfestigkeit und einen ortsunveränderlichen geräteinternen Meßort. Um die Probeentnahme vorzunehmen, könnte man von einer universellen Sonde ausgehen, die nur längenvariabel ist. Verteilungen der Häufigkeit bestimmter Längen und Temperaturen zeigen jedoch (Bild 1), daß dies zu einer material- und kostenaufwendigen Lösung führen würde, die trotzdem technisch nicht allen Forderungen genügt. Der Weg aller Analysatorhersteller, die gleichzeitig auch die Probeentnahme- und Aufbereitungseinrichtungen herstellen, führt daher zu einem Sortiment an Einrichtungen, das dem Einsatzfall angepaßt ist.

Die Anpassung der Sonde an die Temperatur am Meßort, unter Berücksichtigung der Korrossion, erfolgt durch eine geeignete Werkstoffwahl (Bild 2). Hierbei zeigt sich, daß stoß- und schwingungsfeste Stahlsonden bis etwa 1000 °C und nur mit begrenzter Länge anwendbar sind. Für höhere Temperaturen müssen Keramik oder wassergekühlte Sonden eingesetzt werden.

Die zu untersuchenden Gase sind häufig mit Wasserdampf beladen. Solange die Staubbelastung in den gasführenden Teilen der Sonde nicht beseitigt ist, darf es zu keiner Kondensation kommen, da dies zu einer schlammartigen Abscheidungsmasse führt, die Verstopfungen hervorruft. Die Sonden sind daher durch das Meßgut oder elektrische Beheizungen auf Temperaturen zu halten, die eine Kondensation verhindern. Der Kondensationspunkt liegt hierbei wegen säurebildender Nichtmetalloxide (SO_2, SO_3) über 100 °C (bis zu 190 °C), wobei in den meisten Fällen Sondentemperaturen von 150 °C ausreichend sind, um eine Kondensation zu verhindern.

Bild 1
Häufigkeitsverteilungen von Rauchgassonden entsprechend der Einsatztemperatur (a), entsprechend der Sondenlänge (b)

Bild 2
Entnahmesonden (Materialart)
1. Innenfilter 60 µm; 2. Außenfilter: 2.1 Keramik 60 µm, 2.2 Keramik 30 µm, 2.3 Glaswatte 10 µm, 2.4 Glaswatte 1 µm

Um die im Meßgut vorhandene Staubbelastung zu verringern, werden schon bei der Gasentnahme Filterungen vorgenommen, mit Abstufungen der Porenweite von etwa (90 µm), 60 µm, 30 µm, 10 µm und 1 µm. Filtereinsätze können sowohl aus Keramik an der Sonderspitze (Innenfilter) als auch aus Keramik und Glaswolle am Sondenende (Außenfilter) angebracht sein. Kriterium ist hierbei die Staubbelastung, da Außenfilter eine größere Fläche und damit Beladungsmöglichkeit aufweisen (Bild 3).

[1]) Mitteilung aus der IH Köthen, Sektion Anlagenbau.

2. Probenaufbereitungseinrichtungen

2.1. *Kühlung des Meßgases*

Das Meßgas hat am Ausgang der Entnahmesonde eine Temperatur von max. 200 °C und ist durch ein Außenfilter oder nachgeschaltete Filter staubarm. Die Nachfolgeaufgabe besteht in der Kondensation des Wasserdampfes. Dies erfolgt teilweise durch Kühlung, die durch die Verbindungsleitungen auf das Meßgut ausgeübt werden, oder durch Flüssigkeitskühler bzw. Peltier- oder Kompressorkühler. Als Nachteil ist hierbei zu bemerken, daß wasserlösliche Gase die Repräsentativität der Probe in Frage stellen bzw. Korrekturrechnungen erforderlich werden. Das Gas wird auf einen Taupunkt von 2 °C bis 5 °C gekühlt. Damit hat es einen konstanten Wasserdampfgehalt. Die typischen Daten derartiger Kühler zeigt Tafel 1.

2.2. *Filter und Absorptionsvorlagen*

Zur Trennung des Meßgases von Staub und Aerosolen werden Keramikfilter, Glaswattefilter und Plastfilterscheiben eingesetzt. Die Anwendung erfolgt in der Weise, daß in der Meßanlage die Porenweite der Filter absinkt, so daß vor dem Analysator ein Feinstfilter mit einer Porenweite von $\approx 1\,\mu m$ angeordnet ist. Besteht trotz dieser Anordnung bei hohen Staubgehalten (> 200 mg/m³) die Gefahr, daß die Standzeit der Filter sehr kurz ist, wird bei schwerlöslichen Gasen eine Auswaschung des Meßgases mit Wasser vorgenommen und dieses über eine Tauchung des Abflußrohres kontinuierlich abgeführt.
Neben der Staubabscheidung ist es aus Gründen der Selektivität und Empfindlichkeit von Analysatoren oft erforderlich, ein Gas oder ein Dampfgemisch zu entfernen. Dies erfolgt mit Absorptionsvorlagen, die mit möglichst regenerierbaren Chemikalien gefüllt sind. Eine Übersicht gebräuchlicher Füllungen von Absorptionsvorlagen zeigt Tafel 2. Zum Zwecke des äußeren Erkennens von Filterdurchbrüchen werden sog. Sicht- oder Warnfilter mit in den Meßgasstrom eingebaut.

Bild 3. Filter in Entnahmesonden unter Berücksichtigung der Staubbelastung
1 = Innenfilter 2.4. Keramikfilter 2.1; 2.2; 2.3 = Glaswattefilter

Tafel 1. Technische Parameter von Gaskühlern

	Wasserkühler	Peltier-Gaskühler	Kompressor-gaskühler
Temperatur-absenkung	100 K	30 K	50 K
Taupunkt	etwa 15 °C	(4 ± 1) °C	30 °C
Gaswege	1	1–2	1–3
Masse	2 kg	15 kg	30 kg
Schutzart	–	IP 54	IP 30
Zündschutzart	–	kein Exschutz	Ex is T4

Tafel 2. Übersicht gebräuchlicher Füllungen von Absorptionsvorlagen

Absorptionsmittel	Entfernung von	Ungeeignet bei Anwesenheit von
Phosphorpentoxyd	H_2O_D	HCL, Cl_2, NH_3, C_2H_2, C_2H_4, C_3H_8
Schwefelsäure 96% H_2SO_4	H_2O_D	NH_3, C_nH_m
Kalziumchlorid $CaCCl_2$	H_2O_D	SO_2, HCl, NH_3
Blaugel	H_2O_D	SO_2, HCl, C_nH_m
KOH	H_2O_D, CO_2, SO_2	SO_2, CO_2, H_2O_D, Cl_2
Natron-Kalk 2 CaO + 1 NaOH	CO_2, SO_2	CO_2, SO_2, H_2O_D, Cl_2
Aktivkohle	Lösungsmitteldämpfe	NH_3, CO_2, SO_2, Cl_2, CuHm
Lux-Masse	H_2S	HCl, Cl_2
Soda-Lösung Na_2CO_3	SO_2	HCl, Cl_2
Kupfersulfat $CuSO_4$	H_2O_D in Kleinstmengen	

2.3. *Druck- und Durchflußsteuerung*

Die zu messenden Gase müssen analysatorgerecht aufbereitet werden, d. h., der Druck des Gases darf gegenüber dem Atmosphärendruck nur um etwa ± 20 kPa in den Aufbereitungsanlagen schwanken und muß im Analysator meist auf Druckdifferenzen, diekleiner als $\pm$ 1 kPa sind, reduziert werden bzw. muß durchflußkonstant sein. Zur Reduzierung hoher Drücke auf ± 20 kPa werden ein- und zweistufige Druckminderer eingesetzt, die als hilfsenergielose P-Regler ausgeführt sind. Die Einstellung eines konstanten Druckgefälles am Analysator wird durch Perlflaschen, Differenzperlflaschen mit Strömungswiderständen und Strömungskontrollen über Schwebekörperdurchflußmesser erreicht. Absolutdruckkonstanz am Analysator wird durch Abströmregler erreicht, die als hilfsenergielose P-Regler ausgeführt und auf einen Atmosphärendruck von etwa 0,106 MPa eingestellt sind. Eine Übersicht charakteristischer Druckregler zeigt Tafel 3.

2.4. *Reaktionsöfen*

Durch die Vielzahl der zu messenden Stoffe ist es nicht in jedem Fall möglich, einen stoffspezifischen Analysator zu finden. Es ist dann unter anderem zu prüfen, ob die Oxidationsprodukte zur Messung geeigneter sind oder ob störende Stoffe oxidiert werden können. Häufig werden Reaktionsöfen angewandt. Sie bestehen aus Quarzrohren, die teils geregelt, teils ungeregelt bei Temperaturen zwischen 200 °C und 1000 °C betrieben werden. Durch die hohe Temperatur und den relativ großen Reaktionsraum ist es schwierig, diese Öfen explosionsschutzsicher zu gestalten.

2.5. *Umschalteinrichtung und Gasförderung*

Neben Sperren, Ventilen, Hähnen und weiteren Absperrorganen, die handbetätigt sind und bestimmte Fahrweisen von Meßanlagen gestatten, haben sich auch selbsttätige Umschalteinrichtungen bewährt. Die Gasumschalteinrichtungen haben mehrere Gaseingänge und einen zum Analysator führenden Ausgang. So werden meist 3 bis 12 Meßstellen umgeschaltet. Die Gasumschalteinrichtungen haben als Ergänzung häufig eine Grenzwertsignalisierung, deren analoge Ansteuerung durch den nachgeschalteten Analysator übernommen wird.

Bild 4. Analysenmeßanlagen

Die Förderung der Gase erfolgt bei nichtausreichendem Überdruck am Meßort durch Membranpumpen, Taumelscheibenpumpen und Injektoren. Letztere werden nur angewandt, wenn stark staubhaltige Gase mit ausgewaschen werden sollen. Der hierbei auftretende systematische Fehler wird zugunsten höherer Standzeit der Anlagen in Kauf genommen. Der Ausgangsdruck der Fördereinrichtung überschreitet 20 kPa üblicherweise nicht.

3. Gasanalysenmeßanlagen

Zur Kopplung des Meßortes in einem Prozeß mit einem Analysator ist es erforderlich, eine Anpassung der technischen Parameter des Meßgases an die des Analysators vorzunehmen. Hierzu sind die in Abschn. 1. genannten Probeentnahme- und Aufbereitungseinrichtungen so zu kombinieren, daß eine wartungsarme, mit guter Dynamik und hoher Empfindlichkeit ver-

sehene Gasanalysenanlage entsteht. Hierbei ist die Reihenfolge

— Grobstaubabscheidung

— Wasserabscheidung

— Feinstaubabscheidung

eine praxisbewährte Lösung. So haben sich typische, systemartige Lösungen herausgebildet, wobei jedoch häufig eine besondere Anpassung an den Meßfall erforderlich ist.
Nachfolgend sollen ausgewählte Lösungen mit hohem Verallgemeinerungsgrad vorgestellt werden.

3.1. *Analysenmeßanlagen bei geringem Staubgehalt und Raumtemperatur des Meßgases*

Analysenmeßanlagen, die Staubbelastungen kleiner als 50 mg/m³ bei der Probeentnahme aufweisen, können als staubarm bezeichnet werden. Aus diesem Grund haben diese Anlagen nur eine Feinstaubabscheidung hinter der Sonde. Sie kann als Feinfilter (Bild 4, Lösung 3) oder als Sondenaußenfilter mit kleiner Porenweite ausgeführt werden. Im letzten Fall kann sogar noch das Feinfilter von der Pumpe bei Lösung 1 und 2 entfallen. Das Gas wird durch eine Membranpumpe angesaugt und über Ventile zur Grobdurchflußeinstellung einem Schwebekörpermesser zugeführt. Die in die Leitung eingebauten 3-Wegeventile haben die Aufgabe, eine Möglichkeit zur Prüfgaseinspeisung zu schaffen. Die weitere Meßgasaufbereitung wird durch den Analysatortyp bestimmt. Hat der Analysator eine Durchflußabhängigkeit, wird dieser durch eine Differenzdruckperlung und eine Kapillare konstant gehalten (Bild 4, Lösung 2). Die meist dichteabhängige Anzeige von Analysatoren wird durch einen Abströmregler korrigiert, in dem ein konstanter Absolutdruck im Analysator erzeugt wird. Durch schnelle Klimaschwankungen kann es zu Kondensatbildungen in der Meßanlage kommen. Aus diesem Grunde ist ein Kondensatabscheider hinter der Entnahmesonde angebracht. Er ist so angeordnet, daß er sich am tiefsten Punkt der Meßanlage befindet. Alle Geräte und Leitungen werden mit Gefälle zu diesem Punkt verlegt.

3.2. *Analysenmeßanlage mit erhöhter Staubbelastung*

Meßgase mit Staubgehalten bis 200 mg/m³ und Temperaturen unter 600 °C weisen Entnahmesonden auf, die mit einem Filter an der Spitze ausgerüstet sind (Innenfilter). Meßgase mit Temperaturen über 600 °C sollten auf diese Weise nicht entnommen werden, da ein Verbacken des Filters ab 600 °C einsetzt. Das gefilterte Gas wird nach der Kondensatabscheidung einem Glaswattefilter zugeführt und in einem Kühler auf etwa 4 °C gekühlt. Der Rest der Gasaufbereitung entspricht dem einer staubarmen Gasaufbereitung bei Raumtemperatur, da nach dem Kühler diese Verhältnisse erreicht sein müssen. Steigt die Temperatur an der Entnahmestelle auf Temperaturen über 600 °C an, können Innenfiltersonden nicht mehr zum Einsatz kommen. Sie werden ersetzt durch filterlose Entnahmesonden, die mit einer Probenaufbereitung nach Bild 4, Lösungen 4 und 5, ausgerüstet werden. Eine andere Möglichkeit bietet der Einsatz von elektrisch beheizten Außenfiltersonden, da hier das Prinzip erst Staub- dann Wasserentfernung besser eingehalten wird. Im Bild 4, Lösung 7, ist zusätzlich gezeigt, wie die selektive Entfernung einer störenden Komponente mit einem Filter oder einer Vorlage erfolgen kann.

3.3. *Analysenmeßanlagen mit hoher Staubbelastung*

Analysenmeßanlagen mit hoher Staubbelastung werden zweckmäßigerweise mit einer zusätzlichen Wascheinrichtung in der Entnahmesonde oder nach der Entnahmesonde ausgerüstet. Hierbei haben besonders Waschanlagen in der Sonde eine hohe Standzeit und Temperaturfestigkeit. Daneben besteht aber auch die Möglichkeit, durch Außenfiltersonden diesen Meßfall zu beherrschen, wobei jedoch Innen- und Außenfilter eine relativ kurze Standzeit haben. Drei verschiedene Lösungsprinzipien werden im Bild 4 bei den Lösungen 8, 9 und 10 dargestellt.

3.4. *Sondermeßanlagen*

Neben den bisher gezeigten Analysenmeßanlagen mit hohem Verallgemeinerungsgrad gibt es jedoch auch Meßfälle, in denen eine spezielle Anpassung der Meßanlage erforderlich wird. Es sollen nachfolgend einige solcher Sondermeßanlagen gezeigt werden, deren Lösungsweg das Prinzip derartiger Meßanlagen zeigt. Im Bild 4, Lösung 11, ist eine Meßanlage zur Raumluftüberwachung dargestellt, wobei in der Raumluft organische Verbindungen mit einem Infrarotanalysator gemessen werden. Das besondere an dieser Anlage besteht darin, daß die Raumluft in einem Verbrennungsofen geleitet wird, in dem die organischen Bestandteile zu CO_2, H_2O und in geringen Mengen zu weiteren Oxiden verbrennen [1]. Damit ist der CO_2-Gehalt gegenüber dem CO_2-Gehalt der Raumluft ein Maß für den Anteil organischer Verbindungen in der Luft. Da der CO_2-Gehalt der Raumluft ortsabhängig schwankt, ist es erforderlich, den Infrarotanalysator mit Raumluft als strömenden Vergleichsgas zu betreiben. Die gleiche Aufgabe — jedoch mit mehreren Meßstellen — zeigt Bild 4, Lösung 12. Hier wird über einen Gasumschalter das Meßgas der vorher beschriebenen Anlage zugeführt. Bemerkenswert sind die von der Gasumschalteinrichtung angebrachten Tauchungen. Sie haben die Aufgabe, für eine gute Dynamik der Meßanlage zu sorgen, da im Falle der Probeentnahme auf einem anderen Kanal kein frisches Meßgas im Analysator ankommen würde [1].

Tafel 3. Charakteristische Druckregler

Einrichtung	maximaler Vordruck	Ausgangsdruck
Zweistufiger Druckregler	38 MPa	5,0 MPa bis 80 kPa
Einstufiger Druckregler	3,5 MPa	10 kPa bis 80 kPa
Perlflasche	1000 Pa	bis 800 Pa
Differenzdruckregler (Perlung)	1000 Pa	etwa 500 Pa
Abströmregler	+4,5 kPa bis +80 kPa	etwa +20 kPa

Literatur

[1] *Lux, R.:* Bericht des FUA Betriebsanalysenmeßtechnik 1980.

mar 7326

Dr. sc. techn. *D. Heinze*, Ilmenau[1])

Systematik und Modellgleichungssatz zur einheitlichen mathematischen Beschreibung von Gasfeuchtemeßverfahren

IA 3.2.4.4.

0. Einleitung

Die ständige fortschreitende Automatisierung industrieller Prozesse stellt in zunehmendem Maße auch an Gasfeuchtemeßsysteme neue, höhere Anforderungen hinsichtlich verbesserter statischer und dynamischer Meßeigenschaften.
Neben diesen Anforderungen erlangen außerdem solche Eigenschaften wie:

- Temperatur- und Druckunempfindlichkeit bei wechselnden Betriebsbedingungen
- Einsetzbarkeit in aggressiven Medien
- Resistenz gegenüber Verschmutzungen
- Störsicherheit
- Wartungsfreiheit

und nicht zuletzt einfacher Aufbau und geringe Herstellungskosten eine große Bedeutung. Die genannten Anforderungen können jedoch durch keines der bisher bekannten Gasfeuchtemeßverfahren in dieser Komplexität erfüllt werden. Deshalb ist es in der Feuchtemeßtechnik häufig notwendig, für die jeweiligen Meßaufgaben die erforderlichen Meßsysteme selbst aufzubauen oder vorhandene Meßsysteme an gegebene Prozesse anzupassen.

Für die Feuchtemeßtechnik bestehen gegenwärtig zwei grundlegende Aufgabenstellungen:

- Entwicklung neuer Gasfeuchtemeßverfahren und -geräte auf der Grundlage nicht genutzter oder neuer physikalischer Effekte und
- Verbesserung der Meßeigenschaften bekannter und bewährter Meßsysteme auf der Grundlage des jeweilig modernsten Standes der Technik unter Anwendung neuer Technologien.

Beide Zielrichtungen erfordern eine detaillierte Analyse und Synthese der den Meßverfahren zugrunde liegenden physikalischen Wirkungsprinzipien.
Der gegenwärtige Stand der theoretischen Untersuchungen des Gebietes der Gasfeuchtemeßtechnik kann wie folgt gekennzeichnet werden:
Es gibt mehr oder weniger umfangreiche und detaillierte Gesamtdarstellungen, aber auch eine Reihe spezieller Veröffentlichungen und Patente zu den verschiedensten Gasfeuchtemeßsystemen.
Eine verallgemeinerungsfähige Darstellung des Gebietes der Gasfeuchtemeßtechnik auf der Basis der den Meßverfahren gemeinsam zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten gibt es nicht. Dadurch erscheint das Gebiet der Gasfeuchtemeßtechnik relativ heterogen.
In diesem Beitrag soll ein solches verallgemeinerungsfähiges Beschreibungsverfahren für die Meßeigenschaften von Hygrometern vorgestellt werden.

[1]) Mitteilung aus der TH Ilmenau, Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik, Wissenschaftsbereich Prozeßmeßtechnik.

Bild 1. Klassifizierung der Gasfeuchtemeßverfahren nach der Art des Energieaustausches zwischen Meßmedium und Meßsystem

Dieses Beschreibungsverfahren kann zur

- optimalen Dimensionierung vorhandener Meßsysteme
- zweckmäßigen Anpassung der Meßsysteme an gegebene Prozesse
- effektiven Entwicklung neuer Meßsysteme

angewendet werden.

1. Systematik von Gasfeuchtemeßverfahren

Für die Mehrzahl der bekannten Gasfeuchtemeßverfahren bilden die thermodynamischen Beziehungen feuchter Luft und andere die Grundlage ihres Wirkungsprinzips. Dabei werden vorwiegend die Wechselwirkungsvorgänge zwischen dem Dampfdruck des Wasserdampfes der Luft oder anderer Gase mit dem Dampfdruck über Wasser, wäßrigen hygroskopischen Salzlösungen oder porösen hygroskopischen festen Stoffen zur Feuchtemessung ausgenutzt.

Aus der Analyse der Wirkungsprinzipien und der bisher bekannten Ordnungssysteme für die Hygrometer kann eine neue Systematik (Bild 1) abgeleitet werden. Diese Systematik ermöglicht eine eindeutige Klassifizierung der Hygrometer. Darüber hinaus erlaubt diese Systematik Rückschlüsse auf das dem Hygrometer zugrunde liegende physikalische Wirkungsprinzip und gewährleistet somit in gewissen Grenzen auch einen Vergleich der Wirkungsmechanismen der Hygrometer untereinander. Die Wirkungsmechanismen der für industrielle Prozesse wichtigsten Hygrometer beruhen auf einem thermodynamischen Gleichgewichtszustand.

Dieser thermodynamische Gleichgewichtszustand entsteht durch den wechselseitigen Austausch von Wärmeenergie und Wassermolekülen zwischen Meßmedium und Meßsystem und kann in einen statischen und einen stationären Gleichgewichtszustand unterteilt werden.

Dabei tritt ein statischer Gleichgewichtszustand ein, wenn die thermodynamischen Größen Wasserdampfdruck und Temperatur von Meßmedium (e, t_{av}) und Meßsystem (e_F, t_F) identisch sind. Somit gilt

$$e = e_F \tag{1}$$

und

$$t_{av} = t_F \,. \tag{2}$$

Im Gleichgewichtszustand gilt dann für den Energieaustausch

$$\frac{dQ}{dt} = 0 \,. \tag{3}$$

Ein allgemein bekanntes Meßsystem, das auf der Grundlage dieses statischen Gleichgewichtszustandes arbeitet, ist zum Beispiel das Haarhygrometer.

Ein stationärer Gleichgewichtszustand zwischen Meßmedium und Meßsystem entsteht dann, wenn mindestens eine der beiden Gln. (1) oder (2) nicht erfüllt ist. Dafür lassen sich die nachfolgenden Bedingungen

$$e \leqq e_F \quad \text{und} \quad t_{av} \geqq t_F \tag{4}$$

$$e \geqq e_F \quad \text{und} \quad t_{av} \leqq t_F \tag{5}$$

$$e \equiv e_F \quad \text{und} \quad t_{av} \leqq t_F \quad \text{oder} \quad t_{av} \geqq t_F \tag{6}$$

angeben. Für die zwischen Meßmedium und Meßsystem im stationären Gleichgewichtszustand ausgetauschte Energie gilt dann

$$\frac{dQ}{dt} = \text{const.} \lesseqgtr 0 \,. \tag{7}$$

Nach Gl. (4) arbeitet beispielsweise das Feuchtthermometer des Aspirationspsychrometers, bei dem im stationären Gleichgewichtszustand der Dampfdruck über dem befeuchteten Baumwollstrumpf e_F stets größer und die Temperatur des daraus verdunstenden Wassers t_F stets kleiner als Dampfdruck e und Temperatur t_{av} des Meßmediums sind.

Nach Gl. (5) arbeitet zum Beispiel das Elektrolysehygrometer, dessen hygroskopische Substanz den Wasserdampf aus einem Teil des Meßmediums vollständig absorbiert. Dabei stellt sich infolge der Wirkung von Kondensations- und Lösungswärme eine Temperatur der hygroskopischen Schicht t_F ein, die größer ist als die Temperatur des Meßmediums t_{av}. Nach Gl. (6) arbeitet der LiCl-Taupunktfühler, dessen Temperatur t_F im Gleichgewichtszustand stets größer oder in dem praktisch kaum stabil auftretenden Grenzfall gleich der Temperatur t_{av} des Meßmediums ist. In diesem Sinne umgekehrt arbeitet das Tauspiegelhygrometer, dessen Spiegeltemperatur t_F stets kleiner oder in dem genannten Grenzfall gleich der Temperatur t_{av} des Meßmediums ist. Beide Hygrometer arbeiten bei dem Dampfdruckgleichgewicht $e \equiv e_F$.

Bild 2 Adiabatischer Verdunstungsvorgang des Wassers

2. Modellgleichungssatz zur mathematischen Beschreibung von Gasfeuchtemeßverfahren

Die Wechselwirkungsvorgänge des Wärme- und Stoffaustausches zwischen Meßmedium und Meßsystem können prinzipiell durch ein Differentialgleichungssystem, bestehend aus sieben Gleichungen, beschrieben werden [1] und [2].

Für dieses Gleichungssytem sind jedoch bisher keine allgemeingültigen Lösungen gefunden worden. Deshalb erfolgt die Beschreibung des Wärme- und Stoffaustausches auf der Grundlage der allgemeinen Transportgleichung in Verbindung mit der Ähnlichkeits- und Analogietheorie.

Der Wärme- und Stoffaustauschvorgang, bei dem Wärmeenergie und Wassermoleküle gleichzeitig transportiert werden, ist der Verdunstungs- bzw. Kondensationsvorgang von Wasser (Bild 2). Dieser Vorgang wird als adiabatisch bezeichnet, wenn sich der Wärme- und Stoffaustausch ausschließlich zwischen der verdunstenden Wasseroberfläche und dem Meßmedium konvektiv vollzieht.

Zur Modellierung dieses adiabatischen Verdunstungsvorganges werden in [1] und [2] Gleichungen hergeleitet, die in dem nachfolgenden Modellgleichungssatz (8) bis (12) teilweise wiedergegeben sind.

Für den konvektiven Wärmeaustausch zwischen Meßmedium und Meßsystem gilt

$$P_K = \alpha_K \cdot A_F (t_{av} - t_F) \,. \tag{8}$$

Für die Wärmespeicherung in der am Austausch beteiligten Wasserschicht einschließlich der mit ihr thermisch eng verkoppelten festen Körper, wie das Feuchtthermometer beim Aspirationspsychrometer oder der Spiegel des Tauspiegelhygrometers, gilt

$$t_F(p) = \frac{1}{p \cdot C_F} \cdot P_S \,. \tag{9}$$

Bild 3
Mathematisches Modell des adiabatischen Verdunstungsvorganges für Wasser

Bild 4
Modell des Feuchtthermometers vom Aspirationspsychrometer

Bild 5
Mathematisches Modell des Tauspiegelhygrometers

Bild 6
Mathematisches Modell des LiCl-Taupunktfühlers

Für den Transport der Wassermoleküle zwischen Meßmedium und Meßsystem gilt

$$m_w(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{\alpha_K \cdot A_F \cdot \gamma}{c_{pa} \cdot p_{av}} \cdot \left(\frac{D}{a}\right)^n \cdot (e - e_F) \, . \tag{10}$$

Für die Verdampfungswärme bei der Verdunstung von Wasser aus freien Wasseroberflächen gilt

$$P_V(p) = l_v \cdot p \cdot m_w \, . \tag{11}$$

Der Wasserdampfdruck über Wasser wird durch die Magnus-Formel

$$e_w = e_{wo} \exp\left(\frac{a_w \cdot t_F}{b_w + t_F}\right) \tag{12}$$

beschrieben.

Aus diesen Modellgleichungen (8) bis (12) kann das mathematische Modell des adiabatischen Verdunstungsvorganges entwickelt werden, das im Bild 3 dargestellt ist. In diesem Modell wirken die thermodynamischen Größen Dampfdruck e und Temperatur t_{av} des Meßmediums als Eingangssignale und die Temperatur t_F der verdunstenden Wasseroberfläche als Ausgangssignal. Berechnet man aus diesem Modell die Übertragungsfunktion für Änderungen des Dampfdruckes e, so erhält man

$$F_1(p) = \frac{t_F(p)}{e(p)} = \frac{1}{K_1} \cdot \frac{1}{1 + p \cdot T_1'} \tag{13}$$

und für Änderungen der Temperatur der Luft t_{av} folgt

$$F_2(p) = \frac{t_F(p)}{t_{av}(p)} = \frac{1}{K_2} \cdot \frac{1}{1 + p \cdot T_1'} \tag{14}$$

mit den Konstanten

$$K_1 = \frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{\gamma \cdot l_v(t_F)} \cdot \left(\frac{a}{D}\right)^n + \frac{\Delta e_F}{\Delta t_F}, \tag{15}$$

$$K_2 = 1 + \frac{\gamma \cdot l_v(t_F)}{c_{pa} \cdot p_{av}} \cdot \left(\frac{D}{a}\right)^n \cdot \frac{\Delta e_F}{\Delta t_F}, \tag{16}$$

$$T_1' = \frac{C_w}{\alpha_K \cdot A_F \cdot \left[1 + \frac{\gamma \cdot l_v(t_F)}{c_{pa} \cdot p_{av}} \left(\frac{D}{a}\right)^n \cdot \frac{\Delta e_F}{\Delta t_F}\right]} . \tag{17}$$

Aus den Übertragungsfunktionen (13) und (14) ergeben sich sowohl für Dampfdruck- als auch für Temperaturänderungen gleiche Übergangsverläufe der Temperatur t_F beim Verdunstungsvorgang [1] und [2].

3. Anwendung des Modellgleichungssatzes

Das mathematische Modell des adiabatischen Verdunstungsvorganges bildet die theoretische Grundlage für den Entwurf der mathematischen Modelle von Hygrometern, die in Literatur [1] und [2] behandelt wurden. Nachfolgend soll der Modellgleichungssatz unter zusätzlicher Verwendung der jeweiligen hygrometerspezifischen Gleichungen auf das Psychrometer, das Tauspiegelhygrometer und den LiCl-Taupunktfühler angewendet werden.

3.1. *Das Psychrometer*

Die Feuchtemessung nach dem psychrometrischen Prinzip beruht auf der Bestimmung der psychrometrischen Differenz, der Lufttemperatur t_{av}, vermindert um die Anzeige eines Thermometers t_F, dessen temperaturempfindlicher Teil mit Wasser befeuchtet ist und von dem ständig Wasser als Dampf an die Umgebungsluft übergeht [1] und [2].

Der diesem Wirkungsmechanismus zugrunde liegende Verdunstungsvorgang kann durch das mathematische Modell des adiabatischen Verdunstungsvorganges an freien Oberflächen (Bilder 2 und 3) mathematisch beschrieben werden. Dabei ist jedoch vorauszusetzen, daß die Masse der zur Temperaturmessung verwendeten Thermometer gegenüber der beteiligten Wassermasse vernachlässigbar ist. Diese Voraussetzung kann zum Beispiel beim Thermoelementpsychrometer als weitgehend erfüllt betrachtet werden, so daß dann das Modell des adiabatischen Verdunstungsvorganges mit dem Modell des Thermoelementpsychrometers und auch dem Modell eines Psychrometers mit idealen Meßeigenschaften identisch ist.

Erfaßt man zusätzlich die Eigenschaften eines Temperaturfühlers mit nicht vernachlässigbarer Masse (z. B. Widerstandsthermometer Pt100) im Modell, so erhält man außerdem die Übertragungsglieder 6 und 7 im Bild 4 und somit das Modell eines realen Psychrometers. Dieses im Bild 4 dargestellte Modell gilt beispielsweise für das elektrische Aspirationspsychrometer EAP1 [3], das mit Widerstandsthermometern ausgerüstet ist.

Aus dem Psychrometermodell im Bild 4 ergibt sich die Übertragungsfunktion für Änderungen des Dampfdruckes e zu

$$F_1(p) = \frac{t_T(p)}{e(p)} = \frac{1}{\frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{\gamma \cdot l_v} \cdot \left(\frac{a}{D}\right)^n + \frac{\Delta e_F}{\Delta t_F}} \cdot F(p) \tag{18}$$

und für Änderungen der Lufttemperatur t_{av} zu

$$F_2(p) = \frac{t_T(p)}{t_{av}(p)} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma \cdot l_v}{c_{pa} \cdot p_{av}} \cdot \left(\frac{D}{a}\right)^n \cdot \frac{\Delta e_F}{\Delta t_F}} F(p) \, . \tag{19}$$

Dabei erhält man für $F(p)$

$$F(p) = \frac{1}{1 + p \cdot A + p^2 \cdot B} \tag{20}$$

ein Übertragungsglied 2. Ordnung mit den Konstanten

$$A = \frac{C_w + C_T}{\alpha_K \cdot A_F \cdot \left[\frac{\gamma \cdot l_v}{c_{pa} \cdot p_{av}} \left(\frac{D}{a}\right)^n \cdot \frac{\Delta e_F}{\Delta t_F} + 1\right]} + C_T \cdot R_\lambda \tag{21}$$

und

$$B = \frac{C_T \cdot C_w \cdot R_\lambda}{\alpha_K \cdot A_F \cdot \left[\frac{\gamma l_v}{c_{pa} \cdot p_{av}} \left(\frac{D}{a}\right)^n \cdot \frac{\Delta e_F}{\Delta t_F} + 1\right]} . \tag{22}$$

3.2. *Das Tauspiegelhygrometer*

Die Bestimmung der Luftfeuchte mit einem Tauspiegelhygrometer beruht auf der Messung der Temperatur t_F einer gekühlten Spiegelfläche, auf der sich beim Erreichen der Taupunkttemperatur Wasserdampf niederschlägt. Diese Temperatur t_F ist die Taupunkttemperatur t_d der den Spiegel umgebenden feuchten Luft [1] und [2].

In modernen Tauspiegelhygrometern erfolgt die Kühlung des Tauspiegels durch Peltierkühlelemente, die mit Hilfe elektronischer Regler gesteuert werden.

Für die Spiegelkühlung kann man die Beziehung

$$P_P(p) = K_8 \cdot F_R(p) \cdot (m_w - m_{wo}) \tag{23}$$

angeben, wobei K_8 die Übertragungskonstante der Kühleinrichtung darstellt.

Aus den Modellgleichungen (8) bis (12) und der Gl. (23) erhält man das mathematische Modell des Tauspiegelhygrometers im Bild 5, aus dem die zugehörigen Übertragungsfunktionen berechnet werden können.

Für Änderungen des Dampfdruckes e ergibt sich

$$F_1(p) = \frac{t_F(p)}{e(p)} = \frac{1}{\frac{\Delta e_F}{\Delta t_F}} \cdot \frac{1 + p \cdot T_{V1}'}{1 + p \cdot A + p^2 \cdot B}, \tag{24}$$

und für Änderungen der Lufttemperatur t_{av} erhält man

$$F_2(p) = \frac{t_F(p)}{t_{av}(p)} = \frac{p \cdot T'_{D1}}{1 + p \cdot A + p^2 \cdot B} \quad (25)$$

mit den Konstanten

$$A = \frac{1}{F_R(p)} \cdot \left[l_v + \frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{\frac{\Delta e_F}{\Delta t_F} \cdot \gamma} \cdot \left(\frac{a}{D}\right)^n \right], \quad (26)$$

$$B = \frac{1}{F_R(p)} \cdot \left[\frac{C_F}{\alpha_K A_F} \cdot \frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{\frac{\Delta e_F}{\Delta t_F} \cdot \gamma} \cdot \left(\frac{a}{D}\right)^n \right], \quad (27)$$

$$T'_{D1} = \frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{F_R(p) \cdot \frac{\Delta e_F}{\Delta t_F} \cdot \gamma} \cdot \left(\frac{a}{D}\right)^n, \quad (28)$$

$$T'_{V1} = \frac{l_v}{F_R(p)}. \quad (29)$$

Das dynamische Verhalten wird nach den Gln. (24) und (25) somit durch Übertragungsfunktionen mit zwei Trägheitszeitkonstanten und den Vorhaltzeitkonstanten T'_{V1} bzw. T'_{D1} beschrieben. Durch eine geeignete Dimensionierung der Reglerfunktion $F_R(p)$ kann das Übertragungsverhalten des Tauspiegelhygrometers in gewissen Grenzen eingestellt werden [1] und [2].

3.3. *Der LiCl-Taupunktfühler*

Die Feuchtemessung mit dem LiCl-Taupunktfühler beruht auf der Bestimmung der Temperatur einer hygroskopischen, gesättigten LiCl-Lösung, deren Dampfdruck e mit dem Dampfdruck e_F des Meßmediums im Gleichgewicht steht.

Die Bestimmung der Gleichgewichtstemperatur t_F dieser gesättigten LiCl-Lösung erfolgt meist durch elektrische Widerstandsthermometer, deren Ausgangssignal im Gleichgewichtszustand des Meßfühlers ein Maß für die Feuchte des Meßmediums ist. Infolge der hygroskopischen Eigenschaften des LiCl wird durch die Fühleroberfläche Wasser aus dem Meßmedium absorbiert, wodurch die vom Fühler aufgenommene elektrische Heizleistung zunimmt und sich der Fühler erwärmt. Für die Heizleistung in Abhängigkeit von der aufgenommenen Wassermasse m_w gilt

$$P_H = U_H^2 \cdot G_0(t_F) \cdot m_w \,. \quad (30)$$

Gleichzeitig wird bei der Wasseraufnahme des Fühlers festes LiCl-Salz gelöst, wodurch die Lösungswärmeleistung

$$P_L(p) = l_L \cdot p \cdot m_w \quad (31)$$

entsteht.

Im Gleichgewichtszustand des Fühlers entsteht über der Fühleroberfläche der Dampfdruck e_F, der nach Bild 1 gleich dem Dampfdruck e des Meßmediums ist. Dieser Dampfdruck e_F berechnet sich aus der Dampfdruckgleichung für gesättigte LiCl-Lösung oder aus der Dampfdruckgleichung (12) des Wassers multipliziert mit der relativen Fühlerfeuchte U_F, die infolge der Lösung von LiCl in Wasser bei Sättigung etwa 10% der relativen Fühlerfeuchte über Wasser beträgt.

Man erhält dann

$$e_F = e_{LiCl} = e_{LiCl,0} \exp\left(\frac{a_{LiCl} \cdot t_F}{b_{LiCl} + t_F}\right) = U_F \cdot e_{w0} \exp\left(\frac{a_w \cdot t_F}{b_w + t_F}\right). \quad (32)$$

Aus den Modellgleichungen (8) bis (12) und den hygrometerspezifischen Gln. (30) bis (32) kann das mathematische Modell des LiCl-Taupunktfühlers entwickelt werden, das im Bild 6 dargestellt ist.

Berechnet man aus dem mathematischen Modell des LiCl-Taupunktfühlers die Übertragungsfunktionen für einen gegebenen Arbeitspunkt, so erhält man für Dampfdruckänderungen

$$F_1(p) = K_1 \cdot \frac{1 + p \cdot T'_{V1}}{1 + p \cdot A + p^2 \cdot B} \quad (33)$$

und für Temperaturänderungen

$$F_2(p) = K_2 \cdot \frac{p}{1 + p \cdot A + p^2 \cdot B}. \quad (34)$$

Für die Konstanten K_1, K_2, A, B und T'_{V1} ergeben sich

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{1}{\frac{\Delta e_F}{\Delta t_F}} = \frac{1}{\frac{\Delta e_w}{\Delta t_F} \cdot U_{F|0}} \\ K_2 &= \frac{\frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{\gamma}\left(\frac{a}{D}\right)^n}{G_0 U_H^2 \cdot \frac{\Delta e_w}{\Delta t_F} \cdot U_{F|0}} \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

$$T'_{V1} = \frac{l_v + l_l}{G_0 \cdot U_H^2} \quad (37)$$

$$A = K_2 + T'_{V1} \quad (38)$$

und

$$B = K_2 \cdot \frac{C_F}{\alpha_K \cdot A_F}. \quad (39)$$

Experimentelle Untersuchungen der Übergangsverläufe zeigen, daß der Fühler im allgemeinen Fall das Übergangsverhalten eines Schwingungsgliedes aufweist, das durch die dynamischen Kennwerte Dämpfung D' und Zeitkonstante T' beschrieben werden kann. Man erhält unter der Voraussetzung, daß hierbei der Term $(\Delta U_F/\Delta m_w) \cdot m_w$ des Übertragungsgliedes 6 im Bild 6 unberücksichtigt bleibt, für die Dämpfung D'

$$D' = \frac{\frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{\gamma}\left(\frac{a}{D}\right)^n + (l_v + l_l) \cdot \frac{\Delta e_w}{\Delta t_F} U_{F/0}}{2\sqrt{\frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{\alpha_K \cdot A_F \cdot \gamma}\left(\frac{a}{D}\right)^n \cdot C_F \cdot G_0 \cdot U_H^2 \cdot \frac{\Delta e_w}{\Delta t_F} \cdot U_{F/0}}} \quad (40)$$

und die Zeitkonstante T'

$$T' = \sqrt{\frac{\frac{c_{pa} \cdot p_{av}}{\alpha_K \cdot A_F \cdot \gamma}\left(\frac{a}{D}\right)^n \cdot C_F}{G_0 \cdot U_H^2 \cdot \frac{\Delta e_w}{\Delta t_F} \cdot U_{F/0}}} \quad (41)$$

die zwei dynamischen Kennwerte des LiCl-Taupunktfühlers.

Zusammenfassung

Aus der theoretischen Analyse der Wirkungsmechanismen bekannter Hygrometer ergibt sich eine neue Systematik, durch die im Gegensatz zu den bisher bekannten Systematiken eine eindeutige Einordnung der Hygrometer möglich ist.

Die Wirkungsmechanismen der hierbei betrachteten Hygrometer beruhen auf einem thermodynamischen Gleichgewichtszustand, der durch den wechselseitigen Austausch von Wärmeenergie und Wassermolekülen zwischen Meßmedium und Meßsystem gekennzeichnet ist. Zur mathematischen Beschreibung dieses Austauschvorganges wird ein Modellgleichungssatz angegeben, aus dem in Verbindung mit hygrometerspezifischen Gleichungen die mathematischen Modelle für das Psychrometer, das Tauspiegelhygrometer und den LiCl-Taupunktfühler abgeleitet werden. Diesen Modellgleichungssatz kann man auf beliebige Hygrometer anwenden, wenn ihr Wirkungsmechanismus auf einem thermodynamischen Gleichgewichtszustand beruht wie in [1] und [2] gezeigt wurde.

Bild 7
Allgemeine Modellstruktur für Hygrometer, deren Wirkungsmechanismus auf einem thermodynamischen Gleichgewichtszustand beruht

Bild 8
Zusammenstellung hygrometerspezifischer Übertragungsglieder

Hygrometerart	Modellausgang		hygrometerspezifische Übertragungsglieder			
	X_{a1}	X_{a2}	X_1	X_2	X_3	X_4
Ideales Psychrometer (Feuchtthermometer)	t_F	–	0	0	0	0
Tauspiegel-hygrometer	t_F	–	0	0	$K(1-K_1 \cdot m_W)$ (Kühlleistung)	0
Haarhygrometer	–	φ	l_b	$\frac{\Delta U_F}{\Delta m_W} \cdot m_W + U_{Flo}$	0	$K\left(\frac{L_S - L_0}{1+a\left(\frac{m_{WS}-m_W}{m_W}\right)}+L_0\right)$
LiCl-Leitfähigkeitsfühler	–	G	l_d	$\left(1-\frac{m_S}{m_W} \cdot K_1\right) e^{-\frac{m_S}{m_W} \cdot K_1}$ $m_S = m\,(PVA + LiCl)$	0	$G_0\,(t_F)$
LiCl-Taupunktfühler	t_F	–	l_l	$\frac{\Delta U_F}{\Delta m_W} \cdot m_W + U_{Flo}$	$G_0 \cdot U_H^2$ (Heizleistung)	0

Im Bild 7 ist ein verallgemeinerungsfähiges Modell für solche Hygrometer angegeben. Aus diesem Modell kann man in Verbindung mit den hygrometerspezifischen Gleichungen, die im Bild 8 dargestellt sind, die entsprechenden Hygrometermodelle entwerfen.

Verzeichnis der Symbole

A	Konstante, allgemein verwendet
A_F	Am Wärme- bzw. Stoffaustausch beteiligte Oberfläche
B	Konstante, allgemein verwendet
C_F	Wärmekapazität des Meßsystems
C_T	Wärmekapazität des Thermometers
C_w	Wärmekapazität des Wassers
D	Diffusionskoeffizient
D'	Dämpfung
$F_1(p)$	Übertragungsfunktion für Dampfdruckänderungen
$F_2(p)$	Übertragungsfunktion für Lufttemperaturänderungen
G	Elektrischer Leitwert
G_0	Fühlerspezifischer elektrischer Leitwert
K	Konstante, allgemein verwendet
K_1	Spezielle Konstante
L_s	Maximale Haarlänge
L_0	Minimale Haarlänge
P_H	Elektrische Heizleistung
P_K	Konvektiv übergehende Wärmeleistung
P_L	Wärmeleistung infolge Lösung von LiCl in Wasser
P_P	Kühlleistung beim Tauspiegelhygrometer
P_S	Im Meßfühler gespeicherte Wärmeenergie je Zeiteinheit
P_V	Wärmeleistung infolge Verdunstung oder Kondensation
P_W	Gesamte, im Meßfühler gebildete Wärmeleistung
Q	Wärmeenergie
R_λ	Wärmeleitwiderstand
T'_D	Differentiationszeitkonstante
T'_V	Vorhaltzeitkonstante
U_F	Relative Gleichgewichtsfeuchte über Wasser oder wäßrigen Salzlösungen
$U_{F/0}$	Relative Gleichgewichtsfeuchte im Arbeitspunkt 0
U_H	Elektrische Heizleistung
a	Temperaturleitzahl der Luft, Konstante
a_w	Konstante für Wasser
a_{wo}	Konstante für Wasser bei 0 °C
a_{LiCl}	Konstante für gesättigte LiCl-Lösung
$a_{LiCl,0}$	Konstante für gesättigte LiCl-Lösung bei 0 °C
b	Konstante
b_w	Konstante für Wasser
b_{wo}	Konstante für Wasser bei 0 °C
b_{LiCl}	Konstante für gesättigte LiCl-Lösung
c_{pa}	Spezifische Wärmekapazität trockener Luft bei konstantem Druck
e	Wasserdampfdruck
e_F	Wasserdampfdruck des Meßfühlers
e_{LiCl}	Wasserdampfdruck über gesättigter LiCl-Lösung
e_w	Sättigungsdampfdruck über Wasser
e_{wo}	Sättigungsdampfdruck über Wasser bei 0 °C
l_b	Spezifische Bindungswärme
l_d	Spezifische differentielle Verdünnungswärme
l_l	Spezifische differentielle Lösungswärme
l_v	Spezifische Verdampfungswärme des Wassers
m_w	Masse des Wassers
m_{ws}	Masse des Wassers bei Sättigung des Haares
n	Geschwindigkeitsverhältnis

p	Laplace-Operator
p_{av}	Druck feuchter Luft
t	Zeit
t_F	Fühlertemperatur in °C
t_{LiCl}	Temperatur gesättigter LiCl-Lösung
t_T	Thermometertemperatur
t_{av}	Temperatur feuchter Luft
α_K	Wärmeübergangszahl bei Konvektion
γ	Verhältnis der Molekularmassen von Wasserdampf und trockener Luft
λ	Wärmeleitzahl feuchter Luft, Wellenlänge

Literatur

[1] *Heinze, D.:* Einheitliche mathematische Beschreibung von Gasfeuchtemeßverfahren. Dissertation B, Technische Hochschule Ilmenau 1980.

[2] *Heinze, D.:* Theoretische Grundlagen und Meßverfahren der Gasfeuchtemeßtechnik. Lehrmaterial zum Fachgebiet Feuchtemeßtechnik. Technische Hochschule Ilmenau, Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik, Wissenschaftsbereich Prozeßmeßtechnik, 1980.

[3] *Sonntag, D.:* Ein elektrisches Aspirationspsychrometer nach einem WMO-Vorschlag. Zeitschrift für Meteorologie. 25 (1980) H. 4, S. 237–247.

msr 7440

Prof. Dr. sc. techn. *G. Meyer* und Dipl.-Ing. *S. Fensch*, Karl-Marx-Stadt[1])

Beschreibung, Analyse und Implementierung von software-realisierten Steuerungen durch Petri-Netze

IA 1.1.8.

0. Einleitung

In den letzten Jahren wurden Petri-Netze immer häufiger zur Beschreibung von Steuerungen paralleler Prozesse herangezogen. Oft wird der Grundgedanke der Petri-Netze in modifizierter Form benutzt, ohne daß jedoch auf diese Bezug genommen wird. In diesem Beitrag soll die Eignung dieses Beschreibungsmittels auch für Entwurf und Implementierung von Steuerungen auf Polyprozessorsystemen (PPS) gezeigt werden. Dazu wird eine speziell angepaßte Interpretation des Grundmodells angegeben, die einen Kompromiß zwischen Beschreibungsmächtigkeit und Analysefreundlichkeit darstellt. Zum Entwurf, der sowohl im Top-down- als auch Bottom-up-Verfahren möglich ist, werden einige Richtlinien angegeben sowie eine mögliche Analysestrategie erläutert. Zwei mögliche Realisierungsvarianten der Petri-Netz-Entwürfe werden anschließend kurz umrissen. Besondere Beachtung finden dabei der hohe erreichbare Modularitätsgrad und die Möglichkeit einer einfachen hierarchischen Strukturierung der Ablaufsteuerung. Alle hier notwendigen Definitionen und Erklärungen zur Theorie der Petri-Netze sind im Abschn. 4. noch einmal zusammengefaßt (s. auch [1]).

1. Interpretation des Grundmodells

Das Petri-Netz $P = (S, T, V, I_V, I_R, m_0)$ sei das Ausgangsmodell für alle weiteren Betrachtungen. S ist die Menge der Stellen, T die Menge der Transitionen und V die Menge der Verbindungen, die jeweils nur von Plätzen zu Transitionen oder von Transitionen zu Plätzen führen. In dem zum Petri-Netz gehörenden Bigraph werden die Stellen durch Kreise, die Transitionen durch Rechtecke und die Verbindungen durch Pfeile gekennzeichnet. Der Vektor m_0 ist die Anfangsmarkierung des Systems und gibt mit seinen Komponenten $M_0(s_i)$ die Anzahl von Marken auf den Stellen $s_i (i = 1 \ldots |s|)$ an. Ein solches Netzmodell ist ein ereignisgesteuertes System, d. h., Zustandsübergänge hängen nur vom Eintritt bestimmter Ereignisse, dem Schalten der Transitionen, ab. Eine Transition t ist aktiviert bei einer Markierung m und kann somit schalten, wenn alle t vorgelagerten Stellen $\{\cdot t\}$ mindestens eine Marke tragen. Diese Aktivierung wird als eine notwendige Schaltbedingung betrachtet. Beim Schaltvorgang wird von diesen Stellen jeweils eine Marke abgezogen, und alle Nachfolgestellen $\{t\cdot\}$ werden mit einer Marke belegt. Es entsteht die Folgemarkierung m' und man schreibt: $m(t > m'$. Bild 1 zeigt ein Beispielnetz mit der Anfangsmarkierung $m_0^T = (10\,000\,010\,010)$ oder kürzer $m_0^* = (1, 7, 10)$, d. h., es werden die Indizes j der Plätze notiert, deren Markierung $M(s_j) = 1$ ist. Dabei wird vorausgesetzt, daß das Netz sicher ist, und damit $M(s_j) \in \{0, 1\}$. Die Folgemarkierung $m_3^* = (2, 7, 11) \in [m_0]^*$ kann von m_0^* aus erreicht werden über die Markierungsfolgen $m_0^*(t_1 > m_1^* (t_{11} > m_3^*$ oder $m_0^*(t_{11} > m_2^* (t_1 > m_3^*$ mit $m_1^* = (2, 7, 10)$, $m_2^* = (1, 7, 11)$ und $m_1, m_2 \in [m_0]^*$. Man sagt in diesem Fall, daß die beiden Transitionen t_1 und t_{11} unabhängig schalten können.

Es soll nun eine Interpretation des Grundmodells vorgenommen werden, die eine günstige Anpassung an speziell software-

Bild 1 Uninterpretiertes Petri-Netz

[1]) Mitteilung aus der TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik.

realisierte Ablaufsteuerungen sowohl für die Beschreibung als auch für die Implementierung bietet.

Auf einfacher Weise soll bei der Beschreibung möglich sein:

- hohe Anschaulichkeit und damit leichtes Erfassen der Steuerungsvorgänge
- gute Problemanpassung
- Analyse mit vertretbarem Aufwand.

Für die Implementierung gilt im wesentlichen:

- Möglichkeit der Anwendung von Standardmethoden
- geringer Effizienzverlust beim Umsetzprozeß
- hoher Modularitätsgrad und einfache Umstrukturierungsmöglichkeiten des Steuerungssystems.

Zwischen den einzelnen Forderungen an das Beschreibungsmittel müssen optimale Kompromisse gefunden werden, da z. B. Erweiterungen der Beschreibungsmächtigkeit der Petri-Netze durch Netzmorphismen, wie Inhibitorkanten [3], Prioritätsregeln für unabhängige Transitionen, selbstmodifizierende Netze [4] oder Evulationsnetze [5], immer auch die Analyseverfahren verkomplizieren. Ein wesentlicher Vorteil der Petri-Netze besteht aber in der Analysierbarkeit beschriebener paralleler Prozesse. Es werden deshalb im folgenden nur solche Erweiterungen gebraucht, die eine triviale Rücktransformation in ein uninterpretiertes Netz des oben gezeigten Typs zulassen.

Es werden zwei Abbildungsfunktionen wie folgt definiert:

Bezeichnungsfunktion $W_A: T \rightarrow A$ mit A Menge von Aktionen a_i
Bedingungsfunktion $W_X: T \rightarrow f(x)$ mit $x \in X^S \cup X^P \rightarrow \{0, 1\}$

Menge der Eingangsbuchstaben.

X^P Menge der Prozeßsignale;
X^S Menge der Statussignale

Die Bezeichnungsfunktion W_A ordnet somit einigen Transitionen eine oder mehrere Operationen (im weiteren als Aktionen bezeichnet) zu, d. h., aus einem Ereignis wird ein zeitlicher Ablauf, der durch ein Anfangsereignis, den Start der Aktion, und nach Ausführung der Operation durch ein Endeereignis, das Ende der Aktion, gekennzeichnet ist. Mit dem Beginn der Aktion ist ein Abziehen der Marken von den vorgelagerten Stellen verbunden und mit dem Ende die Ausgabe von Marken an die nachgelagerten Stellen.

Die Bedingungsfunktion W_X ordnet bestimmten Transitionen bzw. Aktionen eine logische Funktion $f(x)$ von Elementen x aus der Menge X der Eingangsbuschstaben zu und erweitert somit die Schaltregel für diese Transitionen bzw. Aktionen um die hinreichende Schaltbedingung: $f(x) = 1$ für $x \in X$. Dabei können die binären Signale x Elemente der Datenflußstruktur der Aktionen selbst sein, d. h. $x \in X^S$, oder aus der zu steuernden Prozeßumgebung, d. h. $x \in X^P$, stammen.

Unter den Aktionen sollen für eine software-orientierte Interpretation sequentielle Programme, z. B. in Form von Prozeduren, verstanden werden. Dabei bildet das interpretierte Petri-Netz die Ablaufkontrollstruktur für die Aktionen, die außerdem untereinander über die Datenflußstruktur in Verbindung stehen. Diese läßt sich durch eine Art abstrakter Speicherblöcke modellieren, von denen einige Eingabe- und Ausgabemöglichkeiten zur Umgebung aufweisen und somit entweder die Statussignale X^S bzw. die Prozeßsignale X^P enthalten oder von den Aktionen manipuliert werden. Ein aus diesen Elementen bestehender Datenflußgraph wird in [6] vorgestellt. Er kann zur Analyse des Systems herangezogen werden, um z. B. den Zugriff unabhängig schaltender Aktionen auf gemeinsame Speicherzellen zu verhindern oder um zu prüfen, ob alle Konfliktstellen durch Elemente der Datenflußstruktur gelöst sind. Eine Besonderheit dieser Interpretation zeigt sich schließlich auch bei den Konfliktsituationen im Netzmodell. Bild 1 zeigt einen Konflikt im uninterpretierten Netz zwischen t_2 und t_3, die beide nach dem Schalten von t_1 aktiviert sind, aber nur eine kann tatsächlich schalten und deaktiviert dabei die andere. Die Lösung ergibt sich im interpretierten Netz durch die Zuordnung einer alternativen Bedingungsfunktion.

In der gewählten Interpretation ist jedoch auch der im Bild 2 gezeigte Konfliktfall möglich, der ohne Bedingungsfunktion durch die Regel lösbar ist: Eine Aktion hat im Konfliktfall Vorrang vor einer Transition.

Dies erlaubt, eine gewisse Priorisierung von Prozessen im Entwurf vorzunehmen und hat keine Bedeutung für die Analyse, die ja am uninterpretierten Netz vonstatten geht.

Als Beispielprozeß für ein Netzmodell wurde ein Grundtyp aus der Menge der selbstanpassenden Systeme der automatischen Steuerung nach [7] ausgewählt (Bild 3). Dabei arbeiten 3 Teilprozesse des komplexen Systems autonom auf unterschiedlichen Zeitebenen, und zwar der eigentliche Regler (ms-Bereich), der Zuordner (s-Bereich) und die den Zuordner optimierende Einrichtung (min-Bereich). Der Zuordner könnte dabei z. B. als Klassifikator funktionieren und die zu einer bestimmten Störgröße z_j gehörende optimale Führungsgröße w_j aus einer abgespeicherten Tabelle bestimmen. Die optimale Zuordnung wird in einer Lernphase über den Optimisator ermittelt und im Zuordner vermerkt bzw. ständig aktualisiert (Suche am Prozeß).

Das interpretierte Petri-Netz-Modell zur Steuerung dieses Ablaufs zeigt Bild 4, die auftretenden Aktionen und Signale sind in der Tafel 1 zusammengestellt.

Regeleinrichtung (a_{R1}), Zuordner (a_E, a_{ZU}) und Optimisator (a_{OPT}) arbeiten simultan und kommunizieren nur bei der Übergabe von Daten ($a_{Ü1}$, $a_{Ü2}$) miteinander. Zusätzlich existieren noch ein Fehlerdiagnosesystem (a_{DI}) und ein redundanter Regler (a_{R2}). Dieser wird aktiv, wenn innerhalb von a_{R1} bzw. auf dessen Aktionsträger ein Fehler diagnostiziert wird ($x_Ü = 1$).

2. Entwurf und Analyse

Es soll zuerst die Semantik der Analyseobjekte Lebendigkeit, Sicherheit, Wiederholbarkeit und Wohlstrukturiertheit (Definition s. Abschn. 5.) für die angegebene Interpretation erläutert werden.

Bild 2
Konfliktsituation im interpretierten Netz

Bild 3. Regelungssystem mit statischer Selbstanpassung und nachgeführtem Führungsgrößenzuordner

Bild 4. Petri-Netz-Grobentwurf für den Systemablauf nach Bild 3

So bedeutet:

- Lebendigkeit: Es gibt keinen Deadlock (Verklemmung) in der Steuerung der parallelen Prozesse.
- Sicherheit: Keine Aktion kann vor ihrem Endeereignis wieder gestartet werden und alle Plätze repräsentieren logische Funktionen.
- Wiederholbarkeit: Rückkehr in den Anfangszustand nach Auftragserledigung oder zyklisch ist gewährleistet.
- Wohlstrukturiertheit: Der Aktionsablauf läßt sich in einer hierarchisch höheren Ebene als eine einzige Aktion darstellen.

Der Entwurf kann nun je nach Vorgehen (top-down oder bottom-up) entweder mit einem lebendig, sicher und wiederholbarem Netz als Grobstruktur begonnen und dann schrittweise durch wohlstrukturierte Netze verfeinert werden, oder es werden zuerst Teilnetze dieses Typs entworfen, die dann durch Aktionen ersetzt zu einem Gesamtnetz kombiniert werden.

Für den Entwurf der Grobstruktur oder Teilnetze bietet sich ein Kompositionsverfahren an, das auf der Verkopplung sequentieller Automaten, sogenannter SCSM-Komponenten, basiert. Dabei werden die Komponenten einzeln aufgestellt und anschließend miteinander verbunden, so daß entweder gleichbezeichnete Aktionen oder Stellen zusammengefaßt („übereinandergelegt") oder zusätzliche Kommunikationsstellen eingerichtet werden. Im Bild 4 ist diese Vorgehensweise noch klar erkennbar.
Die SCSM-Komponenten sind hier

- Regler: $*(a_{R1}, (a_{Ü2}; t_3))$
- Zuordner: $*(a_E, (a_{Ü1}; t_1), (a_{VZ}; t_2), a_{ZU}, (a_{Ü2}; *(a_{DI}, a_{R2})))$
- Optimisator: $*(a_{Ü1}, a_{OPT})$

Dabei bedeuten die Symbole: „*" Schleife", „," Sequenz, „;" Alternative.
Bis auf die mit KS bezeichnete Stelle und die sie berührenden Verbindungen, sind alle Elemente des Netzes durch die Komponenten erfaßt. Man spricht in diesem Fall von einer vollständigen Überdeckung, und KS ist Kommunikationsplatz. Netze dieses Typs lassen sich dann meist durch lebendigkeitserhaltende Transformationen so reduzieren, daß eine weitere Analyse (z. B. über den Fallgraph [1] und [10]) mit vertretbarem Aufwand durchführbar ist. Das Netz von Bild 1 läßt sich auf diese Weise bis in die immer lebendig, sicher und wiederholbare Grundform nach Bild 5 transformieren. Weiterhin läßt sich zeigen, daß dieses Netz wohlstrukturiert ist (Starttransition t_1, Endetransition t_8 verbunden über den nur bei m_0 markierten Platz s_1) und man könnte es somit als Block in ein übergeordnetes Schema einbauen. Für ein Top-down-Vorgehen sind auch Verfeinerungen denkbar. Bild 6 zeigt das für die Aktion a_{OPT}, deren Teilaktionen und Signale in Tafel 2 zusammengestellt sind.

Bild 5
Analysegrundform (SCSM)

Tafel 1. Liste der Aktionen und Signale nach Bild 4

Name der Aktion	Spezifikation
a_{EIN}	Einlesen, Verdichten und Abspeichern von x, y und z
$a_{Ü1}$	Übertragung von x, y für Aktion a_{OPT}
a_{OPT}	Berechnung der Ziel- und Beschränkungsfunktion $Q(x, y)$ bzw. $b(x, y)$ sowie der optimalen Zuordnung $Z(Q, b)$
a_{VZ}	Veränderung des Zuordners gemäß $Z(Q, b)$
a_{ZU}	Zuordner (Klassifikation); Fehlerdiagnose des Reglers: Bestimmen von $x_Ü$
$a_{Ü2}$	Übertragung des optimalen Sollwerts w für Aktion a_{R1}
a_{R1}	Regelalgorithmus mit Ein/Ausgabe $u = f(x, w)$
a_{R2}	Regelalgorithmus mit Ein/Ausgabe $u = f(x, w^*)$ bei Ausfall von a_{R1} (w^* fest)
a_{DI}	Diagnoseprozeß zur Fehlersuche im Regler (a_{R1})
Name des Signals	
$x_{TR} \in X^P$	$\begin{cases} 1 \text{ bei Echtzeituhrsignal mit Reglerabtastperiodendauer } T_R \\ 0 \text{ sonst} \end{cases}$
$x_{TZ} \in X^P$	$\begin{cases} 1 \text{ bei Echtzeituhrsignal mit Abtastperiodendauer } T_Z \text{ der Zuordnerschleife} \\ 0 \text{ sonst} \end{cases}$
$x_Ü \in X^S$	$\begin{cases} 1 \text{ wenn Fehlerdiagnose in } a_{ZU} \text{ eine Abweichung ermittelt} \\ 0 \text{ sonst} \end{cases}$

Bild 6
Verfeinerung der Aktion aOPT von Bild 4

Tafel 2. Liste der Aktionen nach Bild 6

Name der Aktion	Spezifikation
$a_{Q,b}$	Berechnung von Ziel- und Beschränkungsfunktion ($Q(x, y)$ bzw. $b(x, y)$)
a_{SUCH}	Ausführung eines Suchschritts des gewählten Optimierungsverfahrens
a_{TEST}	Setzen von SSZ (Suchschrittzähler) mit $SSZ = \begin{cases} 1 & \text{wenn } n \text{ Suchschritte oder Optimum erreicht oder } z \text{ verläßt eine Störgrößenklasse} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$ n ist abhängig von der Pufferkapazität für x, y in a_{EIN}
a_{ABSP}	Abspeichern des Optimums bzw. Quasioptimums

3. Implementierung

Die erste Realisierungsvariante ist ein indirektes Verfahren, d. h., zur Abarbeitung der Steuerungsaufgabe ist ein Betriebssystem mit Semaphoroperationen als Synchronisationsmechanismen, z. B. [8], notwendig. Die P- und V-Operationen, die in [9] ausführlich erläutert sind, werden im Netz dann als Markenfluß über die Kommunikationsstellen dargestellt. Es ist demnach notwendig, die sequentiellen Komponenten so zu entwerfen, daß sie untereinander nur noch über diese Stellen verkoppelt sind (stellendisjunkte Überdeckung, s. auch [10]). Für das Beispielnetz von Bild 4 müßten die Koppelaktionen $a_{Ü1}$ bzw. $a_{Ü2}$, wie im Bild 7 gezeigt, transformiert werden. Die sequentiellen Komponenten werden in der erforderlichen Sprache als Software-Prozesse programmiert. Die zweite Variante ist ein direktes interpretatives Verfahren, d. h., das Petri-Netz wird direkt nach Eingabe über eine Zwischennotation von einem als Steuerprogramm fungierenden Netzabwickler abgearbeitet [11]. Dieser zeichnet sich durch geringen Speicherplatzbedarf aus und eignet sich durch die Möglichkeit der Generierung von Mehrrechnerkoppelvarianten besonders für Polyprozessorsysteme. Die programmierten Aktionen (Datenflußstruktur), das übersetzte Steuernetz bzw. mehrere Teilnetze bei PPS (Ablaufkontrollstruktur) und der generierte Netzabwickler (Steuerprogramm) bilden das Gesamtsystem eines Aktionsträgers (i. allg. ein Rechnermodul im PPS). Durch die Anwendung von Spezialprozessoren läßt sich die eventuell zu hohe Reaktionszeit des Systems kompensieren und es bleibt der Vorteil des einfachen Umstrukturierens und des hohen Modularitätsgrades. So ist eine Änderung der Steuerungsaufgabe durch Ändern des Steuernetzes ohne Systemänderung möglich. Eine Beispielstruktur eines PPS für das Steuernetz von Bild 4 zeigt Bild 8.

4. Definitionen und Erklärungen zur Theorie der Petri-Netze

Der Bigraph $P = (S, T, V, I_V, I_R, m_0)$ heißt Petri-Netz, wenn er die Eigenschaften (1) bis (3) besitzt:

(1) S und T sind endliche Mengen der Mächtigkeit $|S|$ bzw. $|T|$, und es gilt $S \cup T \neq 0$, $S \cap T = 0$ sowie $V \subseteq S \times T \cup T \times S$, und es gibt keine isolierten Stellen oder Transitionen.

(2) $I_V: (S \times T) \to \{0, 1\}$ heißt Vorwärtsinzidenzfunktion.
$I_R: (T \times S) \to \{0, 1\}$ heißt Rückwärtsinzidenzfunktion.

(3) $m_0: S \to IN_0$ mit $IN_0 = \{0, 1, 2, \ldots\}$ Menge der positiven ganzen Zahlen, heißt Anfangsmarkierung und wird als Vektor $m_0 \in IN^{|S|}$ dargestellt, dessen Komponenten $M_0(s_i)$ jeder Stelle $s_i \in \{s_1, s_2, \ldots, s_n\}$ eine Markenanzahl zuordnet.

Die Abbildungen I_V bzw. I_R lassen sich als $(|S|, |T|)$- bzw. $(|T|, |S|)$-Matrizen darstellen, deren Elemente $i_V(s, t)$ bzw. $i_R(t, s)$ definiert sind durch:

$$i_V(s, t) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } (s, t) \in S \times T \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$i_R(t, s) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } (t, s) \in T \times S \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$I := I_R^T - I_V \quad \text{heißt Inzidenzmatrix}.$$

Schaltregel:

Für eine nichtleere Menge $Y \subseteq T$ von gleichzeitig schaltfähigen Transitionen und $m, m': S \to IN_0$ gilt:

$$m(Y > m' : \Leftrightarrow m \geqq I_V \cdot y \wedge m' = m + Iy,$$

mit $y: T \to \{0, 1\}$ als Vektor der Form $y \in IN_0^{|T|}$ und den Komponenten

$$y(t) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } t \in Y \\ 0 & \text{sonst}. \end{cases}$$

Gilt für $Y_i \subseteq T: Y_i = \{t_i\}$, so läßt sich eine Markierungsfolge notieren als:
$m_1(t_1t_2t_3t_4t_5 \ldots) m_n$, und man bezeichnet $\sigma = t_1t_2t_3 \ldots$ als Schaltfolge, die die Markierung m_1 in die Markierung m_n überführt. Man sagt auch m_n ist von m_1 aus erreichbar und schreibt:

$$(m_1 (\to m_n).$$

$[m_0] := \{m_0\} \cup \{m_i \mid m_0(\to m_i\}$ heißt Markierungsklasse von m_0.

$P = (S, T, V, I_V, I_R, m_0)$ sei ein Petri-Netz:
P ist lebendig für eine Anfangsmarkierung m_0 genau dann, wenn für jede Markierung $m' \in [m_0]$ und jede Transition $t \in T$ von P eine Schaltfolge σ existiert, die, ausgehend von m', t schaltet.
P ist sicher für eine Anfangsmarkierung m_0: $\Leftrightarrow$

$$\forall m' \in [m_0], \quad \forall s \in S: M(s) \leqq 1.$$

P ist wiederholbar für eine Anfangsmarkierung m_0: $\Leftrightarrow$

$$\forall m' \in [m_0] \, \exists \sigma: m' (\sigma > m_0.$$

P sei sicher bei einer Anfangsmarkierung m_0:
P heißt wohlstrukturiert: $\Leftrightarrow$

1) P ist lebendig für m_0.
2) Es gibt eine Stelle $s \in S$ mit $\{s^\cdot\} = \{t_S\}$ (Starttransition) und $\{^\cdot s\} = \{t_E\}$ (Endetransition)
3) $M(s) = \begin{cases} 1 & \text{bei } m_0, \\ 0 & \text{sonst}. \end{cases}$

Bild 7
Transformation gemeinsamer Aktionen für Implementierung mittels Semaphoroperationen

Bild 8
PPS-Struktur für die Implementierung des Entwurfsschemas nach Bild 4

P heißt State-machine-Netz (SM-Netz): $\Leftrightarrow$

$$\forall t \in T: |\{{}^{\cdot}t\}| = |\{t^{\cdot}\}| = 1,$$

d. h., jede Transition hat einen und nur einen Vorgänger und Nachfolger.

Ein Netz $P' = (S', T', V', I'_V, I'_R, m'_0)$ heißt Unternetz von P: $\Leftrightarrow$

$$S' \subseteq S, \quad T' \subseteq T \text{ und } V' = V \cap (S' \times T' \cup T' \times S')$$

P' heißt abgeschlossen: $\Leftrightarrow T' = {}^{\cdot}S' \cup S'^{\cdot}$.

Ist P ein SM-Netz und ist der zugehörige Bigraph stark zusammenhängend (SC), so ist P ein SCSM-Netz.

Ist ein abgeschlossenes Unternetz P' von P ein SCSM-Netz, so heißt P' auch SCSM-Komponente.

Die Definitionen sind im wesentlichen [12] und [13] entnommen.

Literatur

[1] *Starke, P.:* Petri-Netze. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1980.

[2] *Meyer, G.; Fensch, S.; u. a.:* Mikrorechnernetze für Steuerungen. Forschungsbericht 53/12/79/5 1979. TH Karl-Marx-Stadt.

[3] *Peterson, J. L.:* Petri-Netze. Computing Surveyes, Vol 9 (1977) No. 3, pp. 223–252.

[4] *Valk, R.:* On the Computational Power of Extended Petri-Nets. MFCS 1978, Zakopane, Lecture Notes in Computer Science 64.

[5] *Noe, J. D.: Nutt, G. J.:* Macro E Nets für Representationes of Parallel Systems. IEEE Transactions on Computer Vol C-22 (1973) No. 8, pp. 718 to 727.

[6] *Howard, B. V.:* Parallel Computation Schemata and their Hardware Implementation. Digital Processes 1 (1975) No. 3, pp. 183–206.

[7] *Reinisch, K.:* Kybernetische Grundlagen und Beschreibung kontinuierlicher Systeme. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.

[8] *Dijkstra, E. W.:* The Strukture of the THE-Multiprogramming System., Comm. ACM Vol. 13 (1970) No. 4, pp. 238–250.

[9] *Richter, L.:* Betriebssysteme – Eine Einführung. Stuttgart: B. G. Teubner 1977.

[10] *Ullrich, G.:* Entwurf von Steuerungsstrukturen für parallele Abläufe mit Hilfe von Petri-Netzen. Institut für Informatik, Universität Hamburg, Bericht IFI-HH-13-36/77.

[11] *Jaehnert, G.:* Programmvorschläge für den K 1520 zur Übersetzung und Abarbeitung von Petri-Netz-Strukturen. Großer Beleg, TH Karl-Marx-Stadt 1980.

[12] *Jantzen, M.; Valk, R.:* Formal Properties of PT-Netz. Advanced course on general net theory of processes and systems, Oct. 8–19, 79 Hamburg, Course Material-Part I.

[13] *Valette, R.; Diaz, M.:* Top-Down Formal Specification and Verification of Parallel Control Systems. Digital Processes 4 (1978) No. 3/4, pp. 181–199.

msr 7327

Programmierbare nichtnumerische Steuerungen (VIII)[1]

Dr.-Ing. *G. Roland*, Karl-Marx-Stadt

Programmierbares Steuerungs- und Baugruppensystem PS 2000

IA 1.1.1.2.; 2.4.1 1.

Im Bild 24 wird gezeigt, daß die acht Ausgabekanäle über ein gemeinsames Gegenpotential verfügen und die Ausgänge durch Arbeitskontakte gebildet werden. Als Relais kommen gegenwärtig GBR 20.1 zur Anwendung, z. Z. werden Untersuchungen zum Einsatz des Relais GBR 10.1 durchgeführt, um die Stromaufnahme für die Steuerspannung +9 V zu vermindern. Der wesentliche Vorteil der Ausgangsbaugruppe AL 220 besteht in der Möglichkeit, den Prozeßsignalpegel 220 V Gleich- oder Wechselspannung verarbeiten zu können.
Jeder Kontakt kann wie folgt belastet werden:

$U_{min} = 12$ V, $U_{max} = 250$ V } Gleich- oder Wechselspannung

$I_{min} = 25$ mA

$I_{max} = 0{,}75$ A

$P_{max} = 75$ W

$S_{max} = 75$ VA

In Abhängigkeit von dem Prozeßsignalpegel sind folgende Schaltströme unter Beachtung der maximalen Verlustleistung zulässig:

Prozeßsignalpegel U/V	Schaltstrom I_{max}/A
12	0,75
24	0,75
48	0,75
110	0,75
220	0,4

Diese Parameter gestatten beispielsweise die Ansteuerung der Luftschütze ID 4 (220 V Ws) oder ID 1 (48 V Ws) bei Anwendung der Reihenschaltung von $R = 510\ \Omega$ und $C = 0{,}47\ \mu$F als Schutzbeschaltung parallel zur Schützspule.

1.3.2.4. Ausgangsbaugruppe AT

Die kontaktlose Ausgangsbaugruppe AT ist geeignet zur Ansteuerung hochfrequentierter Prozeßelemente mit höherem Leistungsbedarf. Die Potentialtrennung zwischen TTL- und Prozeßsignalpegel erfolgt mittels Optokoppler MB 101. Als Ausgabeelement kommt der Leistungstransistor KU 607 zum Einsatz, dessen Kollektor-Emitter-Strecke durch Schmelzeinsatz vor Überlastung geschützt wird. Die Baugruppe verfügt über Lichtemitteranzeigen, die die Funktionstüchtigkeit der Schmelzeinsätze signalisieren. Sie dient der direkten Ansteuerung von Kupplungen und Magneten.

Die Schaltung eines Ausgangskanals ist im Bild 25 dargestellt. Jeder Kanal der Ausgangsbaugruppe kann wie folgt belastet werden:

$U_{min} = 18$ V, $U_{max} = 29$ V } Gleichspannung

$I_{min} = 20$ mA

$I_{max} = 3$ A

$P_{max} = 80$ W

[1]) Teil VII erschien im Heft 8/1981.

Bild 24
Ausgangsschaltung AL 220

Bild 25
Ausgangsschaltung AT

Die Ausgangsbaugruppe AT hat folgende technische Parameter:

— 6 Ausgänge/Baugruppe mit gemeinsamem Gegenpotential
— Rastermaß: 40 mm
— 14polige Steckerleiste für den Anschluß der Prozeßausgänge.

1.3.3. Sonderbaugruppen

Alle Sonderbaugruppen sind dadurch gekennzeichnet, daß ihr Hauptsignalfluß keine direkten Prozeßsignale enthält, sondern auf steuerungsintern gebildeten Informationen beruht. Die Erregung jeder Sonderbaugruppe erfolgt mittels Informationen, die im Ausgangsadressenbereich des Arbeitsspeichers abgelegt wurden. Die Ausgangsinformationen jeder Sonderbaugruppe werden dem Eingangsadressenbereich des Arbeitsspeichers zugeführt und stehen für weitere Verknüpfungsoperationen zur Verfügung. Die Sonderbaugruppen enthalten sowohl Elemente der Eingangs- als auch der Ausgangsbaugruppen. Einige Typen verfügen zusätzlich über eine externe Voreinstellbarkeit. Aufbau und Wirkungsweise werden anhand von Bild 26 erläutert. Zwischen den Funktionsblöcken Ausgangsadressenbereich des Arbeitsspeichers und Ausgangsspeicher entspricht die Arbeitsweise vollständig der Ausgangsschaltung, so daß die abgelegten Informationen ebenfalls anzeigbar sind. Gleichzeitig dienen diese Informationen zur Erregung einer oder mehrerer Sonderschaltungen. Im Falle ihrer Voreinstellbarkeit werden die Prozeßeingangsinformationen unter teilweiser Verwendung der Eingangsschaltung nach Bild 15 kontaktlos potentialgetrennt und der Signalpegel an den der Sonderschaltung angepaßt. Die Ausgangsinformationen der Sonderschaltung sind anzeigbar und werden analog der beschriebenen Eingangsschaltung verarbeitet und im Arbeitsspeicher abgelegt.

Bild 26. Sonderschaltung

Folgende Eigenschaften werden von allen Sonderbaugruppen erfüllt:

— Leiterplattenabmessung: 170 mm × 215 mm
— Rastermaß: 20 mm
— 26polige Buchsenleiste für den Anschluß des Prüfadapters.

1.3.3.1. Zeitbaugruppen

Zeitbaugruppen dienen der Zeitplansteuerung von Prozessen, die immer dann notwendig ist, wenn keine Rückmeldung realisierter Vorgänge möglich ist. Zeitbaugruppen sind in analoger und digitaler Form realisierbar. Der Nachteil analoger Zeitbaugruppen liegt darin, daß ihre Wirkung auf dem Umladevorgang eines RC-Gliedes beruht und eine neue Erregung erst nach Herstellung des Initialzustandes erfolgen darf. Weiterhin haben digitale Zeitbaugruppen den Vorteil, durch eine entsprechende Auslegung des einzusetzenden Zählers einen beliebigen Zeitbereich und eine beliebige Genauigkeit zu realisieren. Die Grenzen werden vom Integrationsgrad der einsetzbaren Bauelemente bestimmt.

msr 7177 (wird fortgesetzt)

Dr.-Ing. *R. Wolf* und Dipl.-Ing. *K. Fiedler*, Magdeburg

Elektronische Schaltungen der Automatisierungstechnik (XXXI)[1]

Mikroelektronikeinsatz — Überblick und Anwendungstechnik

IA 4.0.

2.2. *Kostensenkung durch hohe Losgrößen*

Für die Kosten integrierter Schaltkreise gibt es zwei wesentliche Bestimmungsgrößen: die Größe der verwendeten Chipfläche und die Losgröße. Mit größer werdender Chipfläche vergrößert sich äquivalent auch die Anzahl der auf dem Chip befindlichen Transistoren. Durch unvermeidliche Unregelmäßigkeiten der Fertigung, die bei derartigen Substrukturen auftreten können, wird die Ausbeute stark reduziert und das ökonomische Risiko, das Halbleiterproduzenten hochintegrierter Schaltkreise eingehen, ist nicht unerheblich. Im Bild 3 wird eine allgemeine Trendeinschätzung gezeigt.

Der steile Abfall nach 1970 ist auf die Einführung der Großflächenintegration (LSI-Technologie) zurückzuführen. Nach 1980 wird aufgrund der hohen Integrationsgrade (Bilder 1 und 2) die Ausbeute geringer, wodurch die Kosten je Transistorfunktion nicht weiter in dem Maß fallen wie vor 1980.

Im Bild 4 ist die relative Kostenentwicklung bei Halbleiterspeichern (RAM) zu sehen.

Die im Bild 4 dargestellte Kostenentwicklung zeigt besonders deutlich, wie ökonomisch lukrativ der Einsatz von LSI-Speicherschaltkreisen wird.

2.3. *Erhöhung der Zuverlässigkeit*

Die Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Mikroelektronikschaltkreise ist eine immer wieder gesondert genannte Eigenschaft dieser neuen Halbleiterbauelemente.

Die Ausfallrate (MTBF) liegt bei Einzeltransistoren zwischen $5 \cdot 10^{-7}$/h (SC-Typen) und $2{,}5 \cdot 10^{-7}$/h (SS-Typen). Für MOS-Schaltkreise wird in [3] eine Ausfallrate von $1 \cdot 10^{-7}$/h bis $1 \cdot 10^{-6}$/h angegeben. Der Grund für die starke Erhöhung der Zuverlässigkeit bei integrierten Bauelementen im Vergleich zu diskreten Bauelementen ist durch die Beseitigung möglicher äußerer Störquellen gegeben. Darunter zählen beispielsweise fertigungsbedingte Einflüsse (Lötstellen), mechanische Einflüsse während des Einsatzes (Schwingungen und Stöße sowie ihre Wirkung auf Lötstellen, Haarrisse auf Leiterplatten usw.) sowie Umgebungseinflüsse und Korrosion ungenügend geschützter Kotakt-, Löt- bzw. Leiterplattenstellen.

Nach dem Grundsatz der Zuverlässigkeit ist die Ausfallrate integrierter Schaltkreise, bezogen auf ein entsprechendes Einzelbauelement, um den Integrationsgrad geringer. Das bedeutet, daß eine Schaltung, bestehend aus 100 Transistoren des Typs SS, eine Ausfallrate von $2{,}5 \cdot 10^{-5}$/h hätte. Würde man diese Schaltung vollkommen in einem Schaltkreis unterbringen, dann betrüge die Ausfallrate des Schaltkreises $2{,}5 \cdot 10^{-7}$/h, wäre also um den Faktor der Anzahl der integrierten Bauelemente niedriger als die Ausfallrate eines Transistors der diskreten Schaltung. Mit Hilfe der Darstellung im Bild 5 ist eine Einordnung der hochintegrierten Schaltkreise im Rahmen ausgewählter Bauelemente der Elektronik möglich.

2.4. *Veränderung der Kostenverteilung zwischen Hard- und Software*

Bei den konventionellen elektronischen Geräten läßt sich von Software-Unterlagen im eigentlichen Sinne nicht reden. Die notwendigen Betriebsunterlagen beschränken sich hier auf Bedienungsanleitung, Schaltpläne und Servicevorschriften.

Mit dem Auftauchen von Mikroelektronikschaltkreisen ändert sich das Verhältnis von Hardware (Gerätetechnik) zu Software (Unterlagen zur Handhabung, Programmierung usw.) entscheidend. Der Grund ist in der Verlagerung von vormals fertigungstechnischen Prozessen („Verdrahtungsprogrammierung") in Richtung einer Bearbeitung dieser Probleme schon in der F/E-Phase („Speicherprogrammierung") zu sehen. Die Hardware besteht nur noch aus standardisierten Modulen, und die Funktion oder die Gebrauchswerte des Moduls bzw. Gerätes werden ausschließlich durch das Programm bestimmt.

Zur Programmierung von einem bit werden für einen eingearbeiteten Programmierer 20 min Arbeitszeitaufwand veranschlagt, d. h., die Programmierung eines 8-Kbit-Speichers würde, bezogen auf einen Programmierer, einen Arbeitszeitaufwand von etwa 2700 h bzw. 15 Monaten erfordern. Dabei ist aber zu beachten, daß die Programmierung (oder besser Kodierung) nur einen geringen Teil der gesamten Software-Entwicklung einnimmt. Sie setzt ein, wenn die Gebrauchswerte und technischen Forderungen der Anwender bekannt sind, das Realisierungskonzept für das zu entwickelnde Gerät klar ist und mindestens ein Programmablaufplan vorliegt.

Dagegen beinhalten die Software-Unterlagen nach [2] „Systemunterlagen, Programme und andere anwendungsbezogene Dienstleistungen (z. B. Schulungen und Anwenderunterstützung) zu einer elektronischen Anlage".

Der erforderliche Software-Aufwand ist also von Fall zu Fall unterschiedlich zu beurteilen, je nachdem, welche Vorleistungen schon vorhanden sind bzw. wie klar die Entwicklungsaufgabenstellung ist. Beispielsweise würde es für eine Waschmaschinenprogrammsteuerung wenig Probleme geben, da die erforderlichen Kombinationen (Temperatur, Wasserzulauf, Spülen, Schleudern usw.) seit langem bekannt sind und durch Erfahrungen und Experimente optimiert wurden.

Für die Abschätzung der Entwicklungsaufwendungen wäre sicher eine Faustformel wünschenswert, aber in der kurzen Zeit der Arbeit mit Mikroprozessoren und ähnlichen hochintegrierten Schaltkreisen (7—8 Jahre) ist bei der Neuheit dieser Technik die dazu notwendige Sicherheit einer Einschätzung noch nicht vorhanden.

Den Entwicklungstrend zur Kostenverteilung von Hard- und Software finden wir im Bild 6.

Man sieht daran, daß die Kosten für Software ab etwa 1980 schon genauso hoch liegen wie die Kosten für Hardware.

2.5. *Probleme der Entwicklung*

Die Mikroelektronik bedingt ein vollkommen anderes Herangehen an entsprechende Entwicklungsaufgaben. Uns interessieren hier weniger die Probleme von Bauelementeproduzenten, wie beispeilsweise:

- das starke Ansteigen der Entwicklungskosten für einen Mikroelektronikschaltkreis im Vergleich zu einem konventionellen Schaltkreis
- das Störsichermachen der Information durch zusätzliche Transistorfunktionen im IC, deren Anzahl in Abhängigkeit vom Integrationsgrad steigt
- die Begrenzung der Verlustleistung bei IC's auf < 10 W; für den Anwender folgt daraus die Notwendigkeit, Leistungsausgänge diskret zu realisieren.

[1] Teil XXX erschien im Heft 8/1981.

Bild 3
Kostenentwicklung bei integrierten Schaltkreisen

Bild 4. Relative Kostenentwicklung für Halbleiterspeicher (RAM) nach [4]

Bild 5. Relative Ausfallrate je Gatter nach [4]

Bild 6
Kostenentwicklung für Hardware/Software nach [4]

Bei dem letztgenannten Problem ergibt sich mit dem SIPMOS, einem speziellen FET-Schaltkreis mit Ausgangsleistungen bis zu 3000 W, eventuell eine Lösung [5].

Der Anwender mikroelektronischer Schaltkreise hat neben dem schon vorher Gesagten zu bedenken, daß Speicher und Mikroprozessoren generell im Multiplexbetrieb eingesetzt werden. Nach per Prognose zum Integrationsgrad sind 1980 1 Mill. Transistorfunktionen je Chip (Bild 1) realisierbar, und man kann die entsprechende Zahl von Kontaktstiften (pins) nicht herausführen, abgesehen von der Tatsache, daß in diesem Fall sämtliche Vorteile der Mikroelektronik wieder zunichte gemacht würden. Maximal sind bis zu 72 pins üblich.

Ein Entwicklungsingenieur für Mikroelektronik benötigt darüber hinaus eine Ausbildung mit den Hauptschwerpunkten Elektronik, Mathematik, EDV.

Eine realisierte Mikroelektronikschaltung ist mit den heute bekannten konventionellen elektronischen Meßgeräten nicht überprüfbar (mit Ausnahme von Kontaktfehlern in der Topologie der Leiterplatte). Hierzu ist eine Reihe neuartiger Geräte notwendig, z. B. ein Entwicklungssystem. Die Erfahrungsträgerschaft im Umgang mit derartigen Geräten ist zur Zeit in der Breite noch nicht ausreichend entwickelt.

Neben einer Umprofilierung benötigter Qualifizierungsrichtungen in der Fertigung zugunsten der Prüftechnologie ist im Durchschnitt eine höhere Präzision bei der Leiterplattenfertigung als vorher erforderlich geworden.

msr 7317 (wird fortgesetzt)

Einrichtung zur Messung der Wellenhöhe im natürlichen Seegang

IA 3.2.1.2.

Im Beitrag „Einrichtung zur Messung der Neigungswinkel eines Schiffes im natürlichen Seegang" [1] wurde bereits angedeutet, daß zur Erfassung und Charakterisierung der Eigenbewegungen eines Schiffes im natürlichen Seegang neben den Messungen der Neigungswinkel auch Messungen der Wellenhöhe notwendig sind. Derartige Meßeinrichtungen sollen Betrachtungsgegenstand dieses Beitrages sein.

Allgemeines

In Ergänzung und spezifischer Weiterführung der Neigungswinkelmeßeinrichtung [1] ist die Realisierung von Wellenhöhenmeßgeräten als sogenannte „Wellenreiter" möglich, die von besonderer und weitreichender Bedeutung im Schiffbau, in der See- und Hafenwirtschaft und in anderen Bereichen des maritimen Sektors sind.
Wellenhöhenmeßeinrichtungen sind die fachliche Ergänzung und Komplettierung der Neigungswinkelmeßeinrichtungen für grundlegende und komplexe meßtechnische Untersuchungen und Diagnosen.

Wellenreiter

Wellenhöhenmeßeinrichtungen nach dem Prinzip des Wellenreiters sind frei an der Wasseroberfläche treibende und der Wellenbewegung folgende Bojen, deren Vertikalbeschleunigung gemessen wird. Eine nachfolgende Doppelintegration liefert als Ergebnis die Wellenhöhe. Dieses Prinzip ist hinreichend genau, da der Unterschied zwischen Vertikalbewegung des Wellenreiters und Bewegung der Wasseroberfläche relativ gering ist und außerdem die Boje zusätzlich durch ein an einer elastischen Leine befindliches Lotgewicht stets ausreichend senkrecht gehalten wird.

Meßeinrichtung

Bild 1 zeigt das Prinzipschaltbild der Wellenhöhenmeßeinrichtung nach der Methode des Wellenreiters auf schaltungstechnischer Basis der Neigungswinkelmeßeinrichtung [1] und mit telemetrischer Übertragung der Meßwerte.

Schaltungstechnisch ist eine Änderung der Grenzfrequenz des Tiefpasses für einen Bereich 1 ... 2 Hz und zusätzlich sind die Funktionsgruppen Integrator und spannungsgesteuerter Oszillator sowie die Telemetrieeinrichtung, vorzugsweise auf Basis üblicher Funksprechgeräte, erforderlich. Das Hauptproblem besteht in der schaltungstechnischen Realisierung der zweimaligen Integration und dem damit verbundenen zeitlich anwachsenden Integrationsfehler. Deshalb gilt dem Integrator besondere Beachtung, sowohl bei der Auswahl des Lösungsprinzips als auch bei der Realisierung und dem Abgleich. Der ständige Sendebetrieb ermöglicht durch Funkpeilung die laufende Standortbestimmung des Wellenreiters und somit eine kurzfristige Bergung.

Mechanischer Aufbau und Realisierung

Der Wellenreiter, der für allgemeine Anwendungen mit einem Durchmesser von etwa 0,5 m bei einer Masse von etwa 35 kg optimal erscheint, nimmt die im Bild 1 angegebenen Funktionsgruppen auf.
Die Wellenhöhenmeßeinrichtung basiert vorzugsweise auf der Neigungswinkelmeßeinrichtung [1] und wird mit den funktionell erforderlichen speziellen Integratoren ergänzt.
Der spannungsgesteuerte Oszillator und die Funktionsgruppen des Sendeteils der telemetrischen Übertragung sind integrierte Hybridschaltkreise. Unter Umständen ist gegenüber Bild 1 eine technisch reduzierte Variante möglich, wenn z. B. auf eine telemetrische Datenübertragung verzichtet und ein geeignetes Schwimmkabel entsprechender Länge eingesetzt wird, das neben der Signalübertragung dann auch zugleich die Stromversorgung ermöglicht. Die Länge der elastischen Verbindungsleine des Lotgewichtes ist ebenso wie seine Masse den vorliegenden Einsatzbedingungen anzupassen.
Bild 2 zeigt die Schnittskizze des Wellenreiters. Der Elektronikblock besteht aus zwei nebeneinanderliegenden, stoßgeschützten und gekapselten EGS-Kassetten (360 mm × 120 mm), die die autonome Stromversorgungseinrichtung (gasdichte NC-Sammler), die Meßeinrichtung und die Sendeeinheit aufnehmen. Wasserdicht verschraubte Buchsen ermöglichen die Inbetriebnahme und die Funktionskontrolle des Wellenreiters sowie eine Nachladung des Batteriesatzes.
Bei Nachteinsatz erleichtern drei verteilte dämmerungsgesteuerte Kennungsblitzleuchten das Erkennen und Bergen des Wellenreiters und schränken Havariemöglichkeiten ein.

Bild 1
Prinzipschaltbild der Wellenhöhenmeßeinrichtung

Bild 2
Schnittdarstellung des „Wellenreiters“

Erreichbare Parameter

Der nach [2] und [3] erforderliche Frequenzbereich für Seegangsmessungen von 0,01 bis 5 Hz ist meßtechnisch erfaßbar. Bei einer Auflösung von $\leqq$ 10 cm ist mit einer Gesamtverfälschung der Meßergebnisse von $\leqq \pm 10\%$ bei einer Querrichtungsempfindlichkeit von $\leqq \pm 8\%$ zu rechnen.
Damit ist der meßtechnische Gesamtfehler ausreichend klein gegenüber dem systematischen Grundfehler des Lösungsprinzips „Wellenreiter“ als Wellenhöhenmeßeinrichtung, der im Unterschied zwischen der Vertikalbeschleunigung des Wellenreiters und der Bewegung der Wasseroberfläche besteht und nur in gewissen Grenzen mit dem Lotgewicht optimiert werden kann. Dieser systematische Grundfehler ist bei extremen Genauigkeitsforderungen und bei Einsatz spezieller Datenerfassungs- und Verarbeitungseinrichtungen von prinzipieller Bedeutung und exakt zu analysieren.

Meßwertregistrierung und -auswertung

Die Aufzeichnung und Registrierung der Meßdaten erfolgt der Einfachheit und Vielseitigkeit halber für die manuelle/visuelle Auswertung mit einem technischen y-t-Schreiber und die Klassifizierung individuell nach tabellierten Seegangsparametern. Für die computergestützte Auswertung bezüglich Ermittlung des Seegangsspektrums bzw. der funktionellen Seegangsklassifizierung erfolgt die Aufzeichnung der Meßdaten mit einer Analogmagnetbandmaschine oder sofort in einer entsprechenden Datenverarbeitungseinheit. Falls die Auswertungen und Berechnungen ausschließlich auf anwendungsspezifischen Datenerfassungs- und -verarbeitungseinrichtungen erfolgen soll, empfehlen sich vorteilhaft die telemetrische Übertragung der unintegrierten Meßwerte und eine interne numerische Integration nach bekannten Computerprogrammen, da sich so die Genauigkeit und speziell der zeitliche Fehler der Meßeinrichtung grundlegend verbessern.

Schlußbemerkungen

Abschließend sei erwähnt, daß die in [1] vorgestellte Konzeption einer Neigungswinkelmeßeinrichtung für Schiffe im natürlichen Seegang und die hier beschriebene Wellenhöhenmeßeinrichtung zur Ermittlung des natürlichen Seegangs nicht das Ergebnis von grundlegenden wissenschaftlich-technischen Untersuchungen sind, sondern Untersuchungen zur schöpferischen Lösung der Probleme und zum Auffinden prägnanter Lösungsmöglichkeiten darstellen. Aus diesem Grund wird auch kein Anspruch auf Optimalität erhoben, da durchaus zahlreiche z. T. anwendungstypische Verbesserungen als auch weitere spezifische Gebrauchswerterhöhungen möglich sind.

Literatur

[1] *Kiekbusch, A.:* Einrichtung zur Messung der Neigungswinkel eines Schiffes im natürlichen Seegang. msr 24 (1981) H. 8, S. 457 und 458.
[2] *Carlson, H.:* Beispiel einer Messung von Schiffsbewegungen im natürlichen Seegang. Schiff und Hafen 23 (1971) H. 12, S. 986–988.
[3] *Kuznecov, A. D.; Lefand, I. A.*, u. a.: Vorrichtung zum Messen des Neigungswinkels eines Schiffes (in Russ.). Sudostroenie (1979) No. 5, str. 31 do 33.

msr 7424 *A. Kiekbusch*,
VEB Peene-Werft-Wolgast

Neue Festlegungen für den bautechnischen Explosionsschutz – Wand- und Deckendurchführungen für Kabel und Leitungen

IA 6.4.

Bautechnische Maßnahmen als Bestandteil kollektiv wirkender Mittel und Methoden des GAB berühren auch den Verantwortungsbereich der BMSR-Fachleute. Ihre Aufgabe ist es, für den Bau quantitative Angaben festzulegen, qualitative Forderungen zu stellen und die bautechnische Leistung daraufhin zu kontrollieren. Für die qualitativen Forderungen an Kabel- und Leitungsdurchführungen bei explosionsgefährdeten Räumen gibt die Projektierungsvorschrift „Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten" [1] prinzipielle Hinweise. Bei der Abstimmung mit den Bauausführenden treten jedoch immer wieder Übermittlungsprobleme auf.

Für das Bauwesen wurde am 1. Januar 1979 die Vorschrift 58/78 — Bautechnischer Explosionsschutz [2] verbindlich. Analog zu den Standards TGL 200-0621 enthält diese neue Vorschrift sämtliche bautechnischen Bedingungen, die bei der Errichtung von Gebäuden mit explosionsgefährdeten Arbeitsstätten zu erfüllen sind. Obwohl es zwischen den Elektrostandards für explosionsgefährdete Arbeitsstätten und der Vorschrift 58/78 des Bauwesens keinerlei prinzipielle Widersprüche gibt, fehlte bisher die Basis für zweckentsprechende und einheitliche Lösungen der Kabel- und Leitungsdurchführungen. Die Vorschrift 59/78 regelt auch die konstruktiven Einzelheiten der Wand- und Deckenkonstruktionen. In der Projektierungsvorschrift für explosionsgeschützte Elektroanlagen [1] — 1977 herausgegeben — findet man keinen Bezug auf die später erlassene Bauvorschrift. Auf Anregung aus dem VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau hat die Staatliche Bauaufsicht des Ministeriums für Bauwesen inzwischen präzisierende „Erläuterungen zur Ausführung explosionsgeschützter Kabeldurchführungen" veröffentlicht [3]. Die dort dargestellten Lösungen sind „zur Anwendung empfohlen", müssen aber in Ergänzung der Vorschriften 58/78 und 9/74 [4] als anerkannte Regel der Technik verstanden werden.

Dem BMSR-Fachmann, der beim Festlegen der Kabel- und Leitungswege mit diesen bautechnischen Problemen in Berührung kommt, ist es kaum möglich, die jeweiligen Bedingungen des bautechnischen Explosionsschutzes zu überblicken. Er muß bereits bei den ersten konzeptionellen Gedanken zur Festlegung der Kabel- und Leitungswege in explosionsgefährdeten Gebäuden eng mit dem bautechnischen Projektanten zusammenarbeiten. Zur eindeutigen Klärung des Sachverhaltes ist die Anwendung der neuen Empfehlungen in [4] an folgende Fakten gebunden (sinngemäß gekürzt):

— Objekt: Elektrotechnische Kabel und Leitungen sowie pneumatische Kabel und Stahlrohre, die durch Sicherheitswände oder -decken geführt werden (Elektro-, BMSR- und Nachrichtentechnik)
— Ziel: Abdichtung gegen den Durchtritt explosionsgefährdender Gemische ohne Funktionsminderung der Sicherheitswände oder -decken und mit vorschriftsmäßigem bautechnischem Brandschutz
— Verantwortlichkeit: Bauprojektant, auf der Grundlage der ihm übermittelten Angaben über Umfang und Art der durchzuführenden Kabel und Leitungen.

Kabel und Leitungen haben in der Regel brennbare Isolierstoffe, d. h., sie enthalten Stoffe mit Feuerausbreitung. Wand- und Deckendurchführungen erfüllen sowohl die Forderungen des primären Explosionsschutzes als auch des bautechnischen Brandschutzes, wenn sie die ursprüngliche Gasdurchlässigkeit und den Feuerwiderstand der Wand oder Decke nicht bemerkenswert vermindern. Wer sich ausführlich über die konstruktiven Einzelheiten des bautechnischen Explosionsschutzes bei Wand- und Deckendurchführungen informieren will, findet ergänzende Erläuterungen zu [3] in der Zeitschrift „Der Elektropraktiker" [5]. Der Beitrag geht auch auf Koordinierungs- und Verantwortungsfragen ein.

Literatur

[1] Projektierungsvorschrift „Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten", Ordnungs-Nr. 2.13/9.77; Herausgeber: Institut für Elektro-Anlagen Berlin. Bearbeiter: Kombinat Elektroenergieanlagenbau Leipzig. Ausgabe September 1977.
Projektierungsvorschrift „Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten, Änderungsmitteilung Nr. 1", Ordnungs-Nr. 2.13/8.79; Herausgeber: Institut für Elektro-Anlagen Berlin. Bearbeiter: Kombinat Elektroenergieanlagenbau Leipzig. Ausgabe August 1979.
[2] Vorschrift 58/78: Bautechnischer Explosionsschutz. Staatliche Bauaufsicht Berlin 3 (1979) H. 1, S. 2–11.
[3] *Cichos, J.; Axthelm, O.:* Erläuterung zur Ausführung explosionsgeschützter Kabeldurchführungen. Staatliche Bauaufsicht Berlin 4 (1980) H. 6, S. 43 bis 46.
[4] TGL 10685/03: Bautechnischer Brandschutz, Brandschutzkonstruktion in Bauwerken (z. T. ersetzt durch Vorschrift 9/74 der Staatlichen Bauaufsicht beim Ministerium für Bauwesen der DDR).
[5] *Pester, J.:* Bautechnischer Explosionsschutz bei Kabel- und Leitungsdurchführungen. Der Elektropraktiker 35 (1981) H. 5, S. 166 und 167.

msr 7412 Obering. *J. Pester*, FUA 1.11 der KDT
(Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten)

24. Fachtagung der Informationsgruppe „Reihenfolgeprobleme"

Vom 1. bis 4. Dezember 1980 hat die Informationsgruppe „Reihenfolgeprobleme", eine der ständigen Arbeitsgruppen der Informationsgemeinschaft Operationsforschung in der metallverarbeitenden Industrie (IG „OF in der mvI"), ihre Jahrestagung durchgeführt.

Das Hauptthema dieser 24. Tagung lautete *Rechnergestützte Fertigungssteuerung — notwendige Voraussetzung für die Erhöhung von Zuverlässigkeit und Stabilität komplexer Fertigungsprozesse.*

E. Schlüter (Technische Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg) sprach zum Thema *Möglichkeiten zur Berücksichtigung mehrerer Zielfunktionen in Reihenfolgemodellen.* Ausgehend von der Problematik der Berücksichtigung mehrerer Zielfunktionen in ökonomisch-mathematischen Modellen formulierte er ein Zielsystem und einige Ansätze zur Aufnahme mehrerer Zielfunktionen in Reihenfolgemodellen. Dabei beschränkte er sich auf die Bildung von Ersatzzielfunktionen und die Polyoptimierung (Konzessionsmethode, Berechnung eines Vektoroptimums). Die Untersuchungen wurden an Aufgaben mit sehr kleiner Dimension vorgenommen.

W. Stanek (Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt) referierte zum Thema *Rechentechnische Realisierung des Modellsystems der Operationsforschung MAO SIM.* Er ging davon aus, daß durch die sich immer höher entwickelnde Form des Dialoges im Time-Sharing-Betrieb mit Hilfe von Simulationssystemen der 2. Generation, die bereits die Möglichkeit der ebenfalls interaktiv ablaufenden syntaktischen, logischen und zum Teil auch semantischen Überprüfung und Korrektur der aufgestellten Simulationsmodelle sowie der Programmschritte in der entsprechenden Simulationssprache bieten, die Anwendbarkeit der Simulationsmethodik immer nutzerfreundlicher wird. Eine wichtige Rolle mißt er dabei der Anwendung der Simulation bei der technologisch-organisatorischen Projektierung von Maschinensystemen, integrierten gegenstandsspezialisierten Fertigungsabschnitten und flexiblen Fertigungsstraßen zu. Dazu stellte er wesentliche Fragen der rechentechnischen Realisierung des konzipierten Modellsystems der Operationsforschung MAO SIM (nähere Erläuterung s. msr *23* (1980) H. 8, S. 464ff.) zur mathematisch-analytisch-optimalen Simulation von Fertigungs- und Fertigungssteuerungssystemen im technologisch-organisatorischen Projektierungsprozeß dar.

H.-J. Tischer (Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues Karl-Marx-Stadt) informierte unter dem Thema *Zum Einsatz von Prioritätsregeln im MAO SIM* über verschiedene Tests von Prioritätsregeln unter variierten Bedingungen und die Bewertung der mit Prioritätsregeln ermittelten Lösungen. Er wies darauf hin, daß solche Untersuchungen bereits in der Projektierungsphase erfolgen müssen, wodurch erhebliche Investitionskosten eingespart werden können.

J. Eggert (Kombinat Elektro-Apparate-Werke) sprach zur *Entwicklung eines ESER-Projektes Fertigungssteuerung.* Er ging dabei auf die Gestaltung der Informationsprozesse für eine rechnergestützte Fertigungssteuerung anhand von einzelnen Teilaufgaben der fünf Projektteile ein.

G. Peißker (Martin-Luther-Universität Halle) sprach zum Thema *Optimierungsaufgaben und rechnergestütztes Lösungsprojekt der Fertigungssteuerung am Beispiel eines Betriebes des Fahrzeugbaues.* Er stellte ein Projekt „Zuschnittsoptimierung — Simulation des Prozeßablaufes — Lagerhaltungsoptimierung" vor. Im Simulationsverfahren finden optimale Steuerstrategien auf der Basis einer Kombination von SLACK-Prioritätsregeln und Rundfahrtoptimierung Verwendung.

Die verschiedenen Vorträge und umfangreichen Diskussionen auf der Tagung lassen eine Reihe *grundlegender Schlußfolgerungen* für die Formulierung und Lösung von Reihenfolgeproblemen zu. Bei der Planung und Steuerung von Prozeßabläufen ist davon auszugehen, daß in vielen Fällen als zentrales Problem reihenfolgeabhängige Prozesse der Maschinenbelegung und in Abhängigkeit davon andere Teilprozesse der Fertigungssteuerung, z. B. die Disposition der Transport- und Lagerprozesse, auftreten und einer Lösung mit Hilfe mathematischer Methoden bedürfen.

Die klassischen Aufgabenstellungen von Reihenfolgeproblemen sind hinlänglich bekannt, aber auf die Praxis in den wenigsten Fällen übertragbar. Die bei einer großen Anzahl von Untersuchungen konkreter Praxisfälle gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen zeigen, daß Reihenfolgeprobleme komplizierte mathematische Strukturen ergeben, die der Komplexität, Kompliziertheit, Dynamik und Zufallsabhängigkeit realer Prozesse Rechnung tragen müssen. Auf dieser Grundlage ist es verständlich, daß die praxisrelevanten Reihenfolgeprobleme in Form einer Vielzahl von betrieblichen Aufgabenstellungen mit großer Differenziertheit der Zielstellungen, der internen und externen Realisierbarkeitsbedingungen, der stochastischen Einflußfaktoren und der logischen Strukturen auftreten.

Die Verallgemeinerung einzelner Beispiele ergibt im besten Fall jeweils nur eine spezielle Aufgabenklasse von Reihenfolgeproblemen und läßt damit nur in sehr begrenztem Maße allgemeingültige Erkenntnisse und Aussagen zu Entwicklungsrichtungen zu. Die Analyse einzelner Aufgaben läßt jedoch auf wichtige, in den weiteren Forschungsarbeiten besonders zu berücksichtigende Probleme, Erkenntnisse und Entwicklungsrichtungen schließen:

1. Existenzbereich von Reihenfolgeproblemen in Produktionsprozessen

Die Existenz von Reihenfolgeproblemen ist nicht, wie bisher häufig dargestellt, nur an technologisch einfache Prozesse — typisch hierfür sind besonders die Vorfertigungsabteilungen in Betrieben des Maschinenbaues — gebunden. Sie treten vielmehr auch in technologisch komplizierten Prozessen im Maschinenbau wie auch in technologisch einfachen und komplizierten Prozessen in anderen Zweigen auf. Charakter und Allgemeingültigkeit von Reihenfolgeproblemen werden dabei wesentlich dadurch geprägt, ob es sich um technologisch einfache oder komplizierte Prozesse handelt. Technologisch einfache Prozesse sind vor allem im Maschinen- und Fahrzeugbau in den Vorfertigungsabteilungen existent. Als Beispiel einer besonders praxiswirksamen mathematischen Problemlösung kann hier auf den von *W. Stanek* entwickelten Reihenfolgealgorithmus, bestehend aus einer Kombination von Überdeckungsgitterpunktgraphen und Dynamischer Optimierung, für die Bedingungen des Maschinensystems PC-3 im VEB Kombinat Umformtechnik Erfurt verwiesen werden (als Modellsystem MAO FS bekannt).

Auch das vorgestellte „Modellsystem der Operationsforschung zur mathematisch-analytisch-optimalen Simulation von Fertigungs- und Fertigungssteuerungsprozessen (MAO SIM)" ist auf die Lösung von Reihenfolgeproblemen in Vorfertigungsbereichen orientiert.

Ein typischer Anwendungsfall für die Reihenfolgeoptimierung liegt entsprechend den durchgeführten Untersuchungen zum Beispiel auch in der Großpresserei als zentralem Vorfertigungsbereich im VEB Sachsenring-Werke Zwickau (s. Vortrag von *G. Peißker*) vor. Reihenfolgeprobleme wurden zum Beispiel auch für spezielle Fertigungsstrecken im elektronischen Gerätebau von der Entwicklung und Konstruktion bis hin zur Fertigung bestimmter Bauteile und Baugruppen der Einzel- und Kleinserienfertigung gelöst. Technologisch einfache Prozesse sind auch in bestimmten Gesamtfertigungsprozessen in verschiedenen Betrieben der Leichtindustrie vorhanden. So konnte für den Gesamtherstellungsprozeß im VEB Seil- und Netzwerke Heidenau ein Reihenfolgealgorithmus (Simulationsverfahren gekoppelt mit Prioritätsregeln) entwickelt und erfolgreich eingeführt werden.

Auch zentralisierte Fertigungsabteilungen in der Vorfertigung und in der Endfertigung in den Betrieben des Maschinen- und Fahrzeugbaues sowie in verschiedenen Betrieben der Leichtindustrie erfordern die Lösung von Entscheidungsproblemen in Form von Reihenfolgeaufgaben. Entsprechende Forschungsergebnisse liegen dazu beispielsweise für den VEB Lederbekleidung und Lederhandschuhe „Nikator" Freiberg vor.

Im Maschinen- und Fahrzeugbau, aber auch vielfach in Betrieben der Leichtindustrie gibt es eine Reihe von technologisch komplizierten Prozessen in Form von Montageprozessen. Diese werfen Entscheidungsprobleme auf, die als Reihenfolgeprobleme interpretiert und mathematisch beschrieben werden können.

Bei Montageprozessen treten unterschiedliche Reihenfolgeprobleme zum Beispiel für die Berechnung effektiver Einsteuerungsreihenfolgen auf. Hier, wie auch in anderen Fällen, muß es stärker um die Ermittlung von Steuerstrategien auf der Grundlage der komplexen Wechselbeziehungen aller Teilprozesse gehen.

In neuesten Veröffentlichungen wurden Lösungen für Reihenfolgeprobleme auch aus dem Bauwesen (Fertigungsprozesse in Plattenwerken und Montageprozesse), der Investitionspolitik, der Forschung und Entwicklung sowie der effektiven Nutzung multivalent einsetzbarer Chemieanlagen mit wechselndem Produktionssortiment vorgestellt. Diese Veröffentlichungen beinhalten durchaus Anregungen für die Lösung von Reihenfolgeproblemen in der metallverarbeitenden Industrie, die es zu nutzen gilt.

2. *Anforderungen aus den Grundfunktionen der operativen Steuerung*

Die Erfassung, Formalisierung und Lösung von Reihenfolgeproblemen steht im engen Zusammenhang mit der Realisierung der drei Grundfunktionen der operativen Planung und Steuerung: der Ablaufplanung, der Sicherung der Realisierbarkeitsbedingungen, der operativen Regelung des Prozeßablaufes.

Die in diese drei Grundfunktionen zu integrierende Lösung von Reihenfolgeproblemen muß komplex darauf gerichtet sein,

a) die Variierbarkeit vor allem der organisatorischen Prozeßstruktur und die Wirkung der relevanten externen und internen Realisierbarkeitsbedingungen der Prozesse sowie die stochastischen Faktoren zur Grundlage für günstige bzw. optimale Entscheidungen in der Ablaufplanung zu machen (die Planung muß also den Anforderungen der Steuerung besser gerecht werden)
b) durch die Aufstellung des Ablaufplanes die Verfügbarkeitsbedingungen (Material, Kooperation, Spezialmaschinen) rechtzeitig im voraus zu ermitteln und zu gewährleisten
c) auftretende Produktionsabweichungen durch hinsichtlich ihrer Wirksamkeit getestete Lenkungsmaßnahmen zu kompensieren.

3. *Anwendungsziele für die Methoden der Lösung von Reihenfolgeproblemen*

In der linearen Optimierung und für einige Aufgaben der nichtlinearen Optimierung hat sich inzwischen das Prinzip der Komplexmethode hervorragend bewährt. Es geht hierbei um eine mehrfache gezielte Rückkopplung von der Lösung der Aufgabe zur Aufgabenstellung mit dem Ziel der Verbesserung der Aufgabenstellung.

In diesem Sinne muß auch die Lösung von Reihenfolgeproblemen über die einseitige Suche nach der optimalen bzw. einer Näherungslösung hinaus stärker zur analytischen Arbeit genutzt werden. Demgegenüber schließt die klassische Reihenfolgeoptimierung nur die Entscheidungsfreiheit hinsichtlich der Auftragsfolgen ein. In der Praxis treten aber als beeinflußbare Parameter folgende auf:

a) Fertigungstechnologische, fertigungsorganisatorische und ökonomische Prozeßvoraussetzungen
b) Steuervarianten auf der Grundlage überprüfter Steueralgorithmen
c) Prozeßelemente (Bearbeitungsstationen, Lager, Transportsystem, Erzeugnisprogramm) mit ihren variablen Parametern, Prozeßstruktur und -dimensionierung sowie die Wechselwirkung zwischen den Elementen.

Die Auftragsfolge ist hierbei nur ein Aspekt der unter a) aufgeführten fertigungsorganisatorischen Bedingungen. Insgesamt zielt die volle Nutzung der Beeinflußbarkeit der veränderlichen Parameter sowohl auf eine Vervollkommnung der Steuerung und Rationalisierung bereits funktionierender Prozesse als auch auf die Erhöhung des Niveaus von Organisation, Struktur und Technologie zu projektierender Prozesse. Damit bieten sich für die Lösungsmethoden von Reihenfolgeproblemen Einsatzmöglichkeiten für die Anwendungsgebiete Planung und Steuerung von Prozessen, Rationalisierung bestehender Fertigungs- und Fertigungssteuerungsprozesse, technologisch-organisatorische Projektierung einschließlich der Überprüfung konzipierter oder realisierter Projektierungslösungen.

Diese Anwendungsmöglichkeiten sind auf die Beantwortung folgender Fragen gerichtet:

a) Wie bewältigt das abgebildete projektierte oder existierende Fertigungssystem die jeweilige Fertigungsaufgabe?
b) Welche Elemente und/oder Strukturen von Fertigungssystemen und/oder -aufgaben bewirken die Bedingungen für die erreichte Prozeßeffektivität?
c) Welche organisatorischen und technologischen Maßnahmen können zur Bewältigung einer größeren Aufgabe bzw. zur Verbesserung der Realisierbarkeitsbedingungen ergriffen werden?

Dazu ist die Lösung von Reihenfolgeproblemen stärker in der Einheit von

— methodischem Aspekt im Sinne der Ermittlung einer effektiven Struktur und Organisation von Fertigungs- und Fertigungssteuerungsprozessen
— ökonomischem Aspekt im Sinne der rechnergestützten ökonomischen Interpretation der mathematischen Ergebnisse
— erkenntnistheoretischem Aspekt im Sinne der Gewinnung von neuen Erkenntnissen über das Zusammenwirken und die Gesetzmäßigkeiten im Fertigungssteuerungs- und Fertigungsprozeß

zu gestalten.

4. *Relevante Aspekte künftiger Reihenfolgeoptimierungen und Entwicklungsrichtungen für Lösungsverfahren*

Die Lösung von Reihenfolgeproblemen wird im allgemeinen für statische Aufgaben vorgenommen. In der Praxis existieren aber vielfach Aufgaben mit dynamischem Charakter, für die typisch ist, daß zum Zeitpunkt der Planung nur ein Teil des im Planzeitraum zu bearbeitenden Auftragssortiments bekannt ist.

Von großer Bedeutung für die Reihenfolgeoptimierung sind die Wirkungszusammenhänge des Zeitverhaltens (Auslastungsgrade, Liege- und Durchlaufzeiten) und des Mengenverhaltens (Warteschlangenlänge). Hierbei spielt die Warteschlangenbildung eine wichtige Rolle. Die Warteschlangenlänge ist aber auch aus der Sicht von Maßnahmen der Störungskompensation von Interesse. In den meisten Prozessen liegen 80 und mehr Prozent der Maschinenausfälle infolge von Störungen bezüglich ihrer Dauer im Zeitintervall von 0—10 Stunden. Bei einer Begrenzung der Warteschlangen auf eine Länge von 10 Stunden Bearbeitungszeit aller Aufträge der jeweiligen Warteschlange ist im wesentlichen die Notwendigkeit der Einrichtung von Zwischenlagern gering und Ausfälle vorgelagerter Maschinen können kompensiert werden (Erhöhung des Adaptionsvermögens des Systems bei Senkung der notwendigen Systemreserve). Untersuchungen zeigen auch, daß den Steuerstrategien für Fertigungsprozesse in stärkerem Maße die Komplexität der Wechselbeziehungen zwischen Reihenfolgeeffekt und Bestandseffekt (Auftragsbestandshöhe) zugrunde zu legen ist.

Zur Erhöhung der Einflußmöglichkeiten auf den Fertigungsablauf ist die Reihenfolgeoptimierung stärker mit der Untersuchung von Einflußmöglichkeiten über die Dimensionierung und Organisation von Hilfsprozessen zur Erzielung höherer praktischer Nutzeffekte zu verbinden.

Die Bewertung von Ergebnissen der Reihenfolgeoptimierung muß sowohl von den Kennziffern der Leistungs- als auch der Prozeßkontinuität ausgehen.

Praktische Erfahrungen und Untersuchungen haben vielfach gezeigt, daß zu den bewährten und perspektivreichen Reihenfolgealgorithmen besonders folgende gehören:

— Verfahren der kombinatorischen Analyse (Vorrangregeln, stochastische Methoden der Ermittlung und gezielten Verbesserung von Permutationen von Auftragsfolgen)

— Entscheidungsbaumverfahren (Branch-and-Bound, Enumeration, Dynamische Optimierung)
— Verfahren der deterministischen und stochastischen Simulation einschließlich adaptiver Verfahren und lernender Systeme
— Netzplanmodelle (vor allem auf der Basis von Gitterpunkt- und Überdeckungsgitterpunktgraphen)
— Simulationsmethoden und andere Verfahren mit Prioritätsregeln sowie separat einzusetzende Prioritätsregeln in der rechnergestützten bzw. manuellen Fertigungslenkung
— Lösung des Reihenfolgeproblems als Mehrschrittpolyoptimierungsproblem
— Prioritätsregeln als Eröffnungsverfahren, gekoppelt mit einer diskreten Polyoptimierung mit adaptivem stochastischem Suchprozeß
— Simulationsmodelle mit mathematisch-analytischen (optimalen) Steuerstrategien
— postoptimale Methoden zur Lösungswartung bei auftretenden Veränderungen der Aufgabenstellungen bzw. bei Störungen.

Praxisbewährte Problemlösungen stellen dabei vor allem die Leistungsfähigkeit von
— kombinierten Entscheidungsbaum- und graphentheoretischen Verfahren, kombinierten Entscheidungsbaum- und Simulationsverfahren
— Simulationsverfahren kombiniert mit Prioritätsregeln
— Gitterpunkt- und Überdeckungsgitterpunktgraphen kombiniert mit Entscheidungsbaumverfahren

unter Beweis.

Im Sinne der Erfüllung ihrer Vorhersagefunktion müssen durch diese Algorithmen mit ausreichender Wahrscheinlichkeit und Genauigkeit Aussagen über die Prozeßentwicklung möglich sein. Dabei sind sich verändernde Bedingungen, neue Zielstellungen und Störeinflüsse einzukalkulieren und ein auf hohe Stabilität orientierter Ablauf zu planen.

Die mathematischen Problemlösungen für die Ablaufplanung und Prozeßsteuerung erfassen unterschiedlich umfangreiche, einander beeinflussende Abschnitte des Produktionsprozesses.

Daraus erwächst die Forderung nach einer adäquaten, die relevanten Faktoren beachtenden Erfassung der jeweiligen Aufgabenstellung und der Wechselbeziehungen zwischen den Phasen und Elementen des betrieblichen Reproduktionsprozesses, zwischen den Produktionshaupt-, Hilfs- und Nebenprozessen zur Vermeidung von Insellösungen.

Die erforderliche adäquatere Darstellung der Prozeßabläufe und die damit verbundene Verringerung von Abstraktionsverlusten gegenüber den realen Bedingungen muß durch tiefgründige, einen längeren Zeitraum berücksichtigende Untersuchungen, vor allem mit wahrscheinlichkeitstheoretischen und mathematisch-statistischen Methoden mit dem Ziel der Quantifizierung der Wirkung stochastischer Faktoren, erreicht werden.

Die Algorithmen sollen zur objektivierten Prozeßführung bei ausreichend guter Approximation die Durchführung vielfältiger Maßnahmen ohne direkten Eingriff in das Prozeßgeschehen und bei Vermeidung des Entstehens kritischer Prozeßsituationen gestatten.

Von Bedeutung ist eine stärkere Beachtung von wertmäßigen Kennziffern und eine sinnvolle Verknüpfung bekannter Modelle der Kapazitäts- bzw. Zeit-Kosten-Optimierung mit den Reihenfolgemodellen. Hierfür können die im Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues Karl-Marx-Stadt erarbeiteten *Effektivitätshandbücher* I, II, III eine wertvolle Hilfe sein.

Die Effizienz der mathematischen Problemlösungen der Ablaufplanung hängt davon ab, wie es gelingt, weitere relevante Fragestellungen der Gestaltung der Produktionshaupt- und -hilfsprozesse zu beantworten und mit Hilfe einer gleitenden und iterativen Planung bei Durchsetzung des Optimierungs- und Rückkopplungsprinzips mit der immer stärkeren Orientierung auf den Dialogbetrieb die Qualifizierung des betrieblichen Entscheidungsprozesses komplex zu betreiben, wobei die Planung und Steuerung des Produktionsprozesses als Einheit gesehen werden muß. Die komplexe mathematische Entscheidungsvorbereitung beinhaltet die Orientierung auf die Einbeziehung der mathematisch fundierten Lösung von Losgrößen-, Zuschnitts-, Bedienungs-, Erneuerungs-, Zuverlässigkeits-, Instandhaltungs-, Lagerhaltungs- und Transportproblemen. Dabei ist von den Engpässen auszugehen und nach dem Permanenzprinzip zu erweitern.

Zur effektiven rechentechnischen Lösung von Reihenfolgeaufgaben sind neben der rationelleren Eigenprogrammierung, die auch weiterhin einen hohen Anteil einnehmen wird, die bereits verfügbaren bzw. zu erwartenden vorgefertigten Systemunterlagen, insbesondere für das OS/ES-Betriebssystem (PS Teileplanung, PS OPSI, PS SIMDIS, PP LEINET, PP STATISTIK) nutzbar zu machen. Aus gegenwärtiger Sicht scheinen dabei das PS SIMDIS und das PP STATISTIK eine wichtige Rolle einnehmen zu können. Die programmseitige und systemunterlagenbezogene Konzeption muß den sich vollziehenden Veränderungen in der Hardware, besonders auch in bezug auf die immer stärkere Nutzung von Klein- und Prozeßrechnern Rechnung tragen.

Die Anwendung mathematischer Problemlösungen muß in das methodische Vorgehen in der Planung und Steuerung organisch eingetaktet und in der Einheit von Leitungs- und Planungstätigkeit und Betriebsorganisation gesehen werden. Dabei spielen der geistig-schöpferische Aspekt und die analytische Arbeit eine große Rolle. Hieraus ergibt sich u. a. auch die wachsende Bedeutung des Dialogregimes.

Insgesamt geht es also um die organische Verbindung von betriebswirtschaftlicher Analyse, Reihenfolgealgorithmen, Gerätetechnik, Dateiführung und organisatorischen Regelungen.

Die Informationsgruppe „Reihenfolgeprobleme" hat mit ihrer 24. Tagung ihre langjährige erfolgreiche Arbeit fortgesetzt und einen spezifischen Beitrag zur Vorbereitung der 29. Tagung der Informationsgemeinschaft „Operationsforschung in der metallverarbeitenden Industrie" geleistet. Diese fand vom 5. bis 8. Mai 1981 zum Thema *Theorie und Praxis der allseitigen Nutzung von Mathematik und elektronischer Rechentechnik in den Betrieben und Kombinaten der metallverarbeitenden Industrie* in Magdeburg statt. msr 7349 *G. Peißker*

75 Jahre Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC)

Anläßlich des 75jährigen Bestehens der IEC führte das Nationalkomitee der DDR in der IEC gemeinsam mit dem Fachverband Elektrotechnik der Kammer der Technik am 28. Mai 1981 in Berlin eine Veranstaltung, verbunden mit einem Erfahrungsaustausch, durch. Es nahmen Mitglieder der Ständigen nationalen Arbeitsgruppen zur Mitarbeit der DDR in der IEC für ausgewählte TC aus der Industrie und dem ASMW sowie Vorsitzende von Arbeitsgremien des Fachverbandes teil. Das Hauptreferat hielt der Vorsitzende des DDR-Nationalkomitees, der Stellvertreter des Präsidenten des ASMW, Dr. *H. Emmerich*, zum Thema „75 Jahre IEC — Aufgaben aus der IEC-Mitgliedschaft der DDR".

Vor etwa einem Jahrhundert führten die damals bereits industriell entwickelten Länder die Elektrotechnik aus dem Stadium einer Laboratoriumswissenschaft zu einem neuen Industriezweig. 1881 gab es in diesen Ländern noch 10 unterschiedliche Einheiten der Stromstärke und 15 Einheiten des elektrischen Widerstandes. Daraus resultierten Schwierigkeiten in der fachlichen Verständigung, mangelnde Kompatibilität der hergestellten Geräte und somit Hindernisse für den Warenaustausch. Die sich entwickelnde Energie- und Nachrichtenübertragung über Ländergrenzen hinweg drängte deshalb frühzeitig auf internationale Abstimmungen zu Parametern, Symbolen, Prüfverfahren und Sicherheitsvorschriften. Deshalb beschloß der Internationale Elektrotechnische Kongreß 1904 in St. Louis/USA die Gründung einer internationalen Standardisierungsorganisation auf dem Gebiet der Elektrotechnik, die sich 1906 in London als Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) konstituierte.

Die IEC ist eine nichtstaatliche internationale Organisation, in der die Vertreter der führenden elektrotechnischen Konzerne von Anfang an die Linie bestimmten. Mit dem Eintritt entsprechender Organisationen der sozialisti-

schen Länder in die IEC ergab sich eine veränderte Situation. Die hervorragenden Leistungen der UdSSR, z. B. beim Bau von Wasser- und Kernkraftwerken, Elektroenergieübertragungsanlagen über große Entfernungen, haben entsprechendes Gewicht in der internationalen Standardisierung gewonnen. Es spielen die Erfahrungen und Ergebnisse der Ständigen Kommissionen des RGW für die multilaterale Zusammenarbeit eine wachsende Rolle.
Die IEC hat in technischer Hinsicht Pionierarbeit geleistet, wie heute selbstverständliche, weltweite Vereinheitlichungen beweisen. Zu erwähnen ist das bereits 1930 als erstes kohärentes System von Maßeinheiten eingeführte MKSA (Meter-Kilogramm-Sekunde-Ampere)-System, Basis des heutigen Internationalen Einheitensystems (SI).
Heute sind in der IEC 44 Länder vertreten, in denen etwa 80% der Weltbevölkerung leben, die etwa 95% der weltweit erzeugten Elektroenergie verbrauchen. Mit über 50000 Seiten besitzt die IEC zur Zeit das umfangreichste Standardwerk aller internationalen Organisationen.
Als 43. Land ist die DDR seit März 1979 Mitglied der IEC. Das Nationalkomitee hat die erforderlichen technisch-organisatorischen und methodischen Regelungen für die IEC-Arbeit in der DDR ausgearbeitet [1]. Wir gehen bei der Mitarbeit in der IEC von den Wechselbeziehungen zwischen Wissenschaft und Technik, Produktion und Außenhandel aus. Das erfordert einerseits, die Wirksamkeit der TGL auf den weiteren Anstieg des wissenschaftlich-technischen und qualitativen Niveaus der Erzeugnisse und Verfahren zu erhöhen und andererseits am internationalen Erfahrungsaustausch in der IEC mitzuwirken, um so den Einfluß der sozialistischen Länder auf die internationale Standardisierung zu verstärken.
Der rege Erfahrungsaustausch zu praktischen Problemen unserer angelaufenen IEC-Arbeit ließ deutlich erkennen, daß nur in umfassender Gemeinschaftsarbeit rasch positive Beiträge geleistet werden können. Dabei können Arbeitsgremien der KDT den verantwortlichen Leitern hervorragende Unterstützung geben, wie die Fachausschüsse 2, 5, 16 und 22 bewiesen. Standardisierungsarbeit stand immer im Mittelpunkt der Aufgaben von Fach- und Fachunterausschüssen des Fachverbandes Elektrotechnik. Es kommt jetzt verstärkt darauf an, diese Potenzen der KDT-Arbeit unter Koordinierung durch die KDT-Aktive der Kombinate zielgerichtet zur Unterstützung der IEC-Arbeit einzusetzen.

Literatur

[1] *Lehrnecke, H. H.:* Mitarbeit der DDR in internationalen Organisationen ist vorteilhaft für Warenaustausch. Standardisierung und Qualität 27 (1981) H. 2, S. 80 und 81.

msr 7457 *H. Schwarz,* Vorsitzender der Kommission für Standardisierung im Fachverband Elektrotechnik der KDT

Hannover-Messe 1981

Die 35. Messe in Hannover fand vom 1. April bis 8. April 1981 auf dem inzwischen traditionellen Messegelände (Bild 1) statt. Auf 686068 m² Ausstellungsfläche (23 Hallen) zeigten 5250 Aussteller ihre Exponate in 9 thematisch gegliederten Messe-Teilen. 26 Fachtagungen mit 4500 Besuchern und die in enger thematischer Wechselwirkung gezeigten 8 Sonderschauen ergänzten das Programm der diesjährigen Hannover-Messe. Mehr als 550000 Besucher aus 100 Ländern sahen die vielfältigen Exponate 1981. Die Besucheranalyse ergab ein Ansteigen der Fachbesucher auf 84% und eine Zunahme von entscheidungsbefugten Besuchern auf 36%. Die meisten Aussteller äußerten sich positiv über die Messeergebnisse 1981.
Von dem umfangreichen Angebot sollen in dieser Zeitschrift nur einige relevante Gebiete ausgewertet und sichtbar gewordene Tendenzen dargestellt werden. Schwerpunkt der **Ausstellung** waren auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik im weiteren Sinne folgende (Bild 2):

- Speicherprogrammierbare Steuerungen
- Automatisierung der Büroarbeit durch Textverarbeitungsanlagen, Bürorechner und Kopiereinrichtungen
- Niederspannungsschaltgeräte und
- Relais für die Steuerungstechnik

Folgende Tendenzen lassen sich ableiten:

- Die auf der INTERKAMA 80 deutlich dominierenden Systeme mit verteilter Intelligenz zum Aufbau hierarchischer Strukturen traten auf der Hannover-Messe in den Hintergrund. Hieraus wird der deutliche Trend zu Fachmessen sichtbar.
- Die Anzahl der Hersteller von speicherprogrammierbaren Steuerungen von etwa 100 wird auf 20% zurückgehen, da insbesondere die Großfirmen der Anwenderindustrie sich auf Hersteller orientieren, die die gesamte Anwendungsbreite mit einheitlicher Software betreiben können. Damit wird ein Trend zur Konzentration auf große Hersteller sichtbar.
- Sensoren nahmen im Angebot zu, wesentlich aber dadurch, daß einige bisher bereits angebotene Meßfühler und Initiatoren als Sensoren angeboten wurden. Echte Halbleitersensoren waren nur vereinzelt vertreten.
- Der Verkauf von Problemlösungen stand im Vordergrund.
- Der erwartete Konzentrationsprozeß bei speicherprogrammierbaren Steuerungen führt dazu, daß Firmen dieses Gebiet verlassen und andere Marktlücken suchen. Hierbei orientieren sich offensichtlich einige auf Kleinsteuersysteme und die Ablösung von einfachen elektromechanischen Programmschaltwerken durch mikroelektronische Lösungen.
- Für Zeitrelais ist ein deutlicher Trend zum Rastermaß in der Breite 22,5 mm und Schienenschnellbefestigung — 35 mm nach DIN 46277 zu erkennen.
- 16-bit-Mikroprozessoren werden von den wesentlichen Bauelemente-Firmen angeboten.

Zwei der **Sonderausstellungen** sollen kurz angesprochen werden:
Dem steigenden Bedarf an Innovationen sollte die Ausstellung Forschung und Technologie gerecht werden. Forschungs-

Bild 1. Blick auf das Messegelände in Hannover

Bild 2. Reges Treiben in den Messehallen

institute und Betriebe stellten neue Lösungen vor, die noch nicht produziert werden.
Den Ausstellern im Fachmarkt „Forschung und Technologie" ist nach den Erfahrungen der letzten Jahre bewußt geworden, wie gut sich gerade die korrespondierenden Fachmessen im Rahmen der Hannover-Messe dafür nutzen lassen, das Potential einer neuen technischen Problemlösung — einer neuen Technologie im Markt auszuloten.
Eine weitere Sonderschau war der innovativen Anwendung der Mikroelektronik gewidmet. Gezeigt wurden effektive Lösungen der angewandten Mikroelektronik, meist bereits in Produktion. Dabei reicht das Angebot von der elektronisch gesteuerten Waschmaschine bis zu Robotersteuerungen. Von dem umfangreichen **Tagungsangebot** soll nur auf das Bauelemente-Symposium zum Thema „Innovative Anwendung der Mikroelektronik" kurz eingegangen werden. Auf diesem Symposium wurde versucht, ein Spezialproblem der Anwendung der Mikroelektronik durch die Beantwortung von Fragen nach dem geeigneten Nachwuchs und der geeigneten Ausbildung für Innovationen zu lösen.
Dabei wurde herausgestellt:
Von fachlicher Seite werden vom Hochschulingenieur bis zum Facharbeiter in abgestuftem Maße verlangt:
— Kenntnisse in Elektronik und Datenverarbeitung
— systematisches und algorithmisches Denken
— Strukturieren und Analysieren von Ablaufketten und Vorgängen
— Kenntnisse über Schnittstellenprobleme zwischen Hard- und Software.

Das Symposium ließ somit keine grundsätzlichen Schlußfolgerungen zu.
Bereits vor Abschluß der Messe 1981 wurde auf die Hannover-Messe 82 verwiesen. Zehn **Angebotsschwerpunkte** in Form von zehn Fachmessen am gleichen Ort und zur gleichen Zeit werden 1982 diese bedeutende Industriemesse prägen:
- CeBIT-Welt-Centrum für Büro- und Informationstechnik
- Weltmarkt der Elektrotechnik und Elektronik
- Anlagenbau, Verarbeitung, Werkstoffe
- Forschung und Technologie
- ENERGIE-Technologien zur sinnvollen Energienutzung
- Zuliefermarkt
- Oberflächentechnik
- Produktions- und Betriebsausrüstung
- CeMAT-Welt-Centrum für Materialfluß und Transport
- Bautechnik.

Hinzu kommen noch die Fachmärkte „Werbemittel" und „Wirtschaftsförderung und Industrieansiedlung".
Abschließend kann festgestellt werden, daß ein Besuch der Hannover-Messe sicherlich für viele Fachgebiete von besonderem Interesse ist. Dazu gehört insbesondere das Fachgebiet der Automatisierungstechnik. msr 7446 *H. Fuchs*

Kombinat Medizin- und Labortechnik auf der Leipziger Herbstmesse 1981

Über 50 Prozent der Erzeugnisse des VEB Kombinat Medizin- und Labortechnik Leipzig tragen das höchste Gütezeichen der DDR. Ebenso hoch ist der Prozentsatz der Erzeugnisse, die erst in den letzten fünf Jahren entwickelt wurden.
Das Messeangebot des Kombinates zur Leipziger Herbstmesse 1981 zeugt von der ständig wachsenden Leistungsfähigkeit der Medizin- und Labortechnik der DDR. Mit den 35 Neu- und Weiterentwicklungen, die auf den Exponatenlisten des Leipziger Kombinates stehen, wird gleichzeitig die klare Orientierung auf Progressivität und technischen Fortschritt demonstriert. Die Offerte der Messeneuheiten reicht von medizinischen Einmalgebrauchserzeugnissen aus Plastmaterialien über drei Kleinthermostate und zwei Wasserbäder, zwei Tischzentrifugen (Bild) und eine Ultrazentrifuge, einen automatischen Titrator und eine Auswerteeinheit mit Mikrorechner für kontinuierliche Analysenautomaten, ein Insufflationsgerät und einen Dampfsterilisierautomaten bis hin zu einem klinisch-chemischen Laboratorium und zu einem Spezialprojekt für das Landgesundheitswesen.

Der neue Medizinthermostat M 5 verfügt neben dem variablen Temperaturbereich von 0 bis +100 °C über Festtemperaturen von +25°, +30°, +37°, +56° und +95 °C und ist damit in erster Linie für den Einsatz in medizinischen Einrichtungen geeignet. Sicherheitsfunktionen bewahren das Temperiergut und die wichtigen Bauelemente des Thermostaten vor Schäden. Ein vollelektronischer Proportionalregler übernimmt die Temperaturregelung. Geringer Geräuschpegel, einfache Bedienung, durchsichtige Temperierbehälter und zahlreiches Sonderzubehör bringen den Anwendern weitere nicht zu unterschätzende Vorteile.
Das neue Bluterwärmungsgerät B 5 dient zur Erwärmung kalter Blutkonserven und zum Aufwärmen von Dialyseflüssigkeit während der Bluttransfusion nach dem Prinzip der Wasserbad-Durchlauferwärmung. Das Durchmischen und Thermostatieren der Temperierflüssigkeit sowie die Überwachung der fest eingestellten Badtemperatur und des Flüssigkeitsniveaus im Thermostatbad erfolgt durch die Temperiereinheit. Bei auftretenden Störungen werden optische und akustische Signale gegeben.

Das neue Wasserbad W 1 für einen Kolbenplatz dient zur Temperierung von Glaskolben bis 1 l Füllvolumen im Temperaturbereich von +25° bis +100 °C. Geringes Badvolumen und starke Heizleistung sichern schnelle Betriebsbereitschaft. Niedrige Bauhöhe, moderne Formgebung, eingebaute und verstellbare Füllstandsregelung, Übertemperaturschutz sowie die Verwendung von Edelstahl für Behälter und Deckplatte bieten weitere Anwendervorteile, die auch das neue Reihenwasserbad RW 3 hat, das für drei Kolbenplätze konstruiert ist.
Mit dem neuen automatischen Titrator AT 3 können alle automatischen Titrationen, wie Neutralisationstitrationen, Fällungs- und Redoxtitrationen, Polarisations-Spannungstitrationen und pH-stat.-Regelungen (nach beiden Richtungen) durchgeführt werden. Darüber hinaus ist der Titrator auch als pH-Meßgerät einsetzbar. Die Erhöhung des Eingangswiderstandes und die neu konzipierte Schaltung ermöglichen eine bessere Anpassung an die Meßaufgaben und erweitern die Einsatzmöglichkeiten. Anschlußmöglichkeiten für Schreiber, Motorbürette oder Magnetventil, automati-

sche Temperaturkompensation, Fernsteuerungen und Fernsignalisation sind vorhanden.

Die neue Tischzentrifuge T 51 ist vor allem für den Routinebetrieb im Labor vorgesehen. Durch das moderne Gehäuse aus PUR-Strukturschaum wird der Geräuschpegel gering gehalten. Die Beschleunigungswerte und die hohe Bremsleistung führen zur Einsparung an Zentrifugierzeit. Drei verschiedene Drehzahlen können über einen elektronischen Steller vorgegeben werden. Die mechanische und elektronische Deckelverriegelung garantiert höchste Sicherheit bei der Bedienung. Die neue präparative Ultrazentrifuge UP 65 arbeitet im Drehzahlbereich bis 65000 U/min. Sie hat ein Programm für Zonalzentrifugation, digitale Drehzahl- und Temperaturanzeige, Temperaturgrenzwerteinstellung, vorwählbare automatische Zuschaltung der Diffusionspumpe, Überdrehzahlsicherung, stufenlos vorwählbare Bremse und eine 24-Stunden-Schaltuhr. Geringer Geräuschpegel, übersichtliche und einfache Bedienung sowie der vollautomatische Arbeitsablauf sind weitere Qualitätsmerkmale des Gerätes.

Besondere Beachtung werden dem medizin- und labortechnischen Anlagenbau des Kombinates zuteil werden, der seine Leistungsfähigkeit durch ein klinisch-chemisches Laboratorium mit einer neuentwickelten Laborbaureihe und ein Systemangebot für das Landgesundheitswesen demonstriert.

Zu den wertvollsten Weiterentwicklungen des Kombinates gehören Atemschutzmasken, endoskopische Geräte, Viskosimeter, ein Laborrührwerk, ein kontinuierlicher Analysenautomat, ein hämatologischer Analysenautomat, ein Titriergerät und eine Tischzentrifuge. Vier Erzeugnisse, die auf bisherigen Leipziger Messen mit Goldmedaillen ausgezeichnet wurden, werden in diesem Jahr als weiterentwickelte Varianten vorgestellt:

Der hämatologische Analysenautomat bestimmt vollautomatisch die acht wichtigsten Parameter der zellulären Zusammensetzung des menschlichen Blutes. Durch die Weiterentwicklung besteht jetzt die Möglichkeit, standardisierte Direktentnahmegefäße ohne zeitaufwendiges Vormischen und Umfüllen direkt in den Automaten einzugeben. Zusätzliche Rührwerke im Probenvorbereitungssystem erhöhen die Präzision der gemessenen Parameter weiter. Wartung, Reinigung und Pflege wurden wesentlich erleichtert. Die Eignung zum Einsatz in der Veterinärmedizin ist nachgewiesen, und der Automat kann ohne technische Veränderungen auch für eine Reihe unterschiedlicher Tierblute eingesetzt werden.

Das weiterentwickelte Viskosimeter Rheotest 2.1 ist zu hohen Viskositäten erweitert worden und läßt Messungen bei Geschwindigkeitsgefällen zwischen 2×10^{-2} und $4{,}8 \times 10^{3}\ s^{-1}$ zu. Das Rotationsviskosimeter mit Searle-, Couette- und Kegel-Platte-Meßeinrichtung entspricht den Bedingungen internationaler Standards und ermöglicht die Messung der wahren Viskositäten und Fließkurven praktisch aller Flüssigkeiten. Als Zubehör kann der Schreiber TZ 4.100 angeschlossen werden, der die Aufnahme von Fließkurven und zeitabhängigen Veränderungen der Viskosität gestattet.

Das weiterentwickelte Laborviskosimeter B 3 verfügt über je eine Meßlage beim Vor- und Rücklauf der Kugel, so daß in der gleichen Zeit die doppelte Anzahl von Messungen durchgeführt werden kann. Daraus resultiert auch der Vorteil einer geringeren zeitlichen Beanspruchung der Flüssigkeit, insbesondere bei nichtnewtonschen Flüssigkeiten.

Nach dem bewährten Fließprinzip wurde auch der kontinuierliche Analysenautomat weiterentwickelt. Zur Leipziger Herbstmesse wird der Automat erstmals für die klinisch-chemischen Verfahren „Kreatinin und Harnstoff aus einer Probe" vorgestellt. Er analysiert nun bis zu 120 Proben in der Stunde und kann je nach der zu lösenden Aufgabe vom Ein- bis zum Vierkanalgerät zusammengestellt werden. Der Gebrauchswert des kontinuierlichen Analysenautomaten wird durch den Anschluß der neuen Auswerteeinheit AE 2/2 erweitert. Die Ergebnisse werden in Konzentrationseinheiten ausgedrückt. Manueller Arbeitsaufwand entfällt damit völlig. Die Einheit wird durch den Mikrorechner K 1520 gesteuert und ist für zwei Kanäle ausgelegt. Zusätzliche Funktionen bestehen in der automatischen Druckkorrektur, der selbsttätigen Nachkalibrierung und der Ausgabe von Fehlerkennzeichen. msr 7462 *W. Seidel*

Bild. Produktion von Tischzentrifugen im VEB MLW Zentrifugenbau Engelsdorf

Weiterentwickelte Wärmemengenrechner WR 120-3 und WR 120-4

Die Wärmemengenrechner WR 120-3 und WR 120-4 TGL 33257 stellen eine Weiterentwicklung der Typen WR 120-1 und WR 120-2 dar.

Ihr Einsatzgebiet als Bestandteil einer Wärmemengenmeßeinrichtung sind Fernwärmenetze sowie betriebliche Wärmeversorgungsanlagen. Zu dieser Meßeinrichtung der Klasse 6 nach ASMW-VM 433 gehören 2 Widerstandsthermometer PT 100, ein Woltmanzähler für heißes Wasser und ein Wärmemengenrechner (Bild).

Die neuentwickelten Geräte zeichnen sich gegenüber den vorangegangenen Typen durch eine kleinere Fehlergrenze für die Wärmemengenanzeige, einen vergrößerten Temperaturdifferenzbereich, verringerte Leistungsaufnahme, kleineres Bauvolumen und geringere Masse aus. Die Geräte werden in einer meßtechnischen Prüfstelle des ASMW geeicht und sind für den Einsatz im rechtsgeschäftlichen Verkehr zugelassen.

Der Typ WR 120-3 wird mit Woltmanzählern der Nennweiten 50, 80 und 100 mm und der Typ WR 120-4 mit Woltmanzählern der Nennweite 150 mm eingesetzt.

Die Leiterplatten des Rechners und ein 6stelliges Rollenzählwerk für die Anzeige der Wärmemenge sind in einem Duroplastgehäuse untergebracht. Eine rot leuchtende Lichtemitterdiode neben dem Zählwerk zeigt durch periodisches Blinken den Durchfluß des Wärmeträgers Wasser an. Die kleinste ablesbare Einheit für die Wärmemenge ist beim WR 120-3 0,1 GJ, beim WR 120-4 1 GJ. Am Gehäuse ist ein Klemmenkasten aus Aluminiumguß befestigt, der mit 5 Stopfbuchsverschraubungen zur Einführung der Leitungen in das Gerät und plombierbarem Deckel ausgerüstet ist. Für die Anzeige oder Registrierung der Temperaturdifferenz ist ein Stromausgang und für die Fernzählung der Wärmemenge ein Kontaktausgang vorhanden. Die Vorlauftemperaturen und Rücklauftemperaturen in einem Wärmeträgerkreislauf mit dem Wärmeträger Wasser werden mit je einem Widerstandsthermometer gemessen. Ein Woltmanzähler als Meßfühler für das Wasservolumen befindet sich in der Rücklaufleitung. Im Wärmemengenrechner erfolgt die rechnerische Verknüpfung der Meßwerte für die Temperaturen und des Volumens zum Meßwert für die Wärmemenge. Das Gerät arbeitet mit variablem Wärmekoeffizienten. Zum Zubehör gehören 2 Widerstandsthermometer mit plombierbarem Anschlußkopf. Die Wärmemengenrechner tragen das Gütezeichen „Q". Eine Erweiterung der Meßeinrichtung für Wärmemenge auf die Meßgröße Wärmeleistung ist durch Verwendung eines Meßzusatzes WL 41 als Zusatzgerät zum Wärmemengenrechner möglich.

Technische Daten:

Eingang „Vorlauftemperatur" und „Rücklauftemperatur"	je ein Widerstandsthermometer Typ 354.2, L = 160 mm
Eingang „Volumen"	Woltmanzähler für heißes Wasser Typ WS-TH; Hersteller VEB GRW Teltow
Anzeigebereich des Zählwerkes für die Wärmemenge	99999,9 GJ für Typ WR 120-3 999999 GJ für Typ WR 120-4
Ausgang „Wärmemenge"	Fernzählkontakt 1 Impuls = 0,1 GJ für Typ WR 120-3 1 Impuls = 1 GJ für Typ WR 120-4 Belastbarkeit: 24 V, 50 mA, ohmsche Last
Ausgang „Temperaturdifferenz"	0 bis 20 mA Gleichstrom entsprechend 0 bis 120 K Temperaturdifferenz, maximal zulässiger Außenwiderstand 300 Ω
Nenntemperaturdifferenz (Größte Temperaturdifferenz)	120 K
Kleinste Temperaturdifferenz	6 K
Temperaturbereich	30 bis 180 °C
Anwendungsbedingungen	
Hilfsenergie	$220\ V^{+10\%}_{-15\%}$ 50 bis 60 Hz
Leistungsaufnahme	7 VA
Schutzgrad	IP 54
Einsatzklasse	0/+45/+30/80/3201
Berührungsschutz	Schutzleiteranschluß (Schutzklasse 1)
Einsatzgruppe	GI nach TGL 200-0057/04
Fehlergrenzen Wärmemengenanzeige	
— bei Werkprüfung	±1,5% vom Sollwert
— Eichfehlergrenzen	±2,5% vom Sollwert
Fehlergrenzen Ausgangsstrom	±4% vom Sollwert

Hersteller: VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow.

msr 7439 *G. Weltmann*

Etappen zur MSR-Geräteentwicklung zwischen 1900 und 1965

IA 6.1.

Der Beitrag berichtet über einige Objekte aus dem musealen Bestand der AG „Gerätesammlung" der TH Leipzig und über Erkenntnisse, die vom FUA „Geschichte der Automatisierungstechnik" der WGMA zusammengetragen worden sind. In dem zu behandelnden Zeitabschnitt hat sich die MSR-Technik aus einem primitiven Stadium zu einer relativ hohen Perfektion entwickelt.

Eine solche Entwicklung zeigte sich bereits in der Betriebsmeßtechnik. Während etwa seit dem Jahre 1900 elektromechanische Betriebsmeßgeräte, die mit Präzision, Genauigkeit und Zuverlässigkeit verhältnismäßig hohen Ansprüchen genügten, hergestellt wurden, spielt etwa seit den 50er Jahren die Elektronik (heute besonders die Digitaltechnik) eine immer größere Rolle. Ein Beispiel hierzu sei aus der Fotometrie dargestellt.

Bild 1 zeigt das Wirkungsprinzip eines Photometers aus dem Jahre 1908 [1]. Es diente zur Messung von Licht- und Beleuchtungsstärken. Das Prinzip beruht auf der Helligkeitsvergleichsmethode. Lichtquelle x beleuchtet Milchglas g, Lichtquelle b (Benzinlämpchen, geeicht in Einheit „Hefnerkerze") beleuchtet Milchglas f. Die Helligkeiten beider Milchgläser (Strahlen d und c) werden über das Doppelprisma auf das Okular übertragen. Durch manuelle Verschiebung von f (Variierung von r) wird die Helligkeit des Ringes (Beleuchtungsstärke E_f) an die Helligkeit des Kreises (Beleuchtungsstärke E_g) angeglichen. Aus dem fotometrischen Entfernungsgesetz (1) ist die gesuchte Größe I_x herzuleiten.

Lichtquelle x (Meßobjekt), Milchglas g, Milchglas f (verschiebbar), Lichtquelle b (Vergleichsobjekt), Prisma, Okular; Kreis: Strahlen d; Ring: Strahlen c

Fotometrisches Enfernungsgesetz:

$$\frac{I_x}{I_b} = \frac{E_g R^2}{E_f r^2} \quad E_g = E_f \longrightarrow I_x = I_b \frac{R^2}{r^2} \qquad (1)$$

Bild 1. Wirkungsprinzip eines Photometers (1908)

I_x Lichtstärke von x, I_b Lichtstärke von b, E_f Beleuchtungsstärke an f, E_g Beleuchtungsstärke an g

Bild 2. Photometer gemäß Bild 1

Die konstruktive Ausführung zeigt Bild 2. Die Verschiebbarkeit des Milchglases f erforderte einen verhältnismäßig hohen Aufwand an mechanischer Konstruktion und Präzision. Denkbar war auch damals schon die Veränderung der Lichtstärke I_b in Gl. (1), was sich aber bei der Verwendung einer Flamme als Vergleichslichtquelle sicher nicht ganz einfach realisieren ließ. Später benutzte man als Vergleichsobjekte elektrische Glühlampen, die den konstruktiv einfacheren Lichtstärkenvergleich möglich machten. Ein Beispiel hierzu ist ein „optisch-elektrisches" Pyrometer in der Temperaturmeßtechnik etwa aus dem Jahr 1920 [2] und [3]. Dessen Wirkungsprinzip (Bild 3) beruht zwar auf den Strahlungsgesetzen von *Stefan-Boltzmann* (2) und *Kirchhoff* (3), es läßt sich aber auch nach dem Entfernungsgesetz (1) bedienen, da für die Messung nur der verhältnismäßig kleine optische Frequenzbereich benutzt wird (Teilstrahlungspyrometer) [4]).

In diesem Gerät durchläuft Strahl d der Wärmequelle x die Kohlefadenlampe b und trifft auf das Okular. Gleichzeitig strahlt der Glühfaden von b über d auf das Okular. Durch Veränderung des elektrischen Lampenstromes mit dem Widerstandseinsteller f wird die Glühfarbe (Helligkeit) des Kohlefadens an die Glühfarbe (Helligkeit) des Meßobjektes angeglichen. Auf einer geeichten Skale zeigt f die gemessene Temperatur an. Die konstruktive Ausführung zeigt Bild 4.

Eine spätere Bauform eines Pyrometers gleichen Prinzips (etwa 1950) zeigt Bild 5 [5]. Mit der Benutzung eines Drehwiderstandes zum Helligkeitsvergleich und eines Drehspulmeßgerätes zur Temperaturanzeige war es möglich, ein verhältnismäßig kleines und handliches Gerät herzustellen.

Schließlich machte man sich in jüngerer Vergangenheit auch den schon lange bekannten fotoelektrischen Effekt von Halbleiterdioden [5]

$$I_{ph} \sim E$$

I_{ph} Fotostrom, E Beleuchtungsstärke in der Fotometrie zunutze, z. B. zur An-

Kohlefadenlampe b (Vergleichsobjekt)

Wärmequelle x (Meßobjekt)

Okular

Einsteller f für Schiebewiderstand

Stefan-Boltzmannsches Gesetz $E_S = \sigma T^4$ (2)

Kirchhoffsches Strahlungsgesetz $E_{\lambda T} = a_\lambda E_{S\lambda T}$ (3)

Bild 3
Wirkungsprinzip eines „optisch-elektrischen" Pyrometers (1922)

E_S Emission des schwarzen Körpers, σ Stefan-Boltzmannsche Konstante, T absolute Temperatur, $E_{\lambda T}$ Strahlungsemission eines Körpers bei bestimmter Wellenlänge λ und Temperatur T, $a_{\lambda T}$ Absorptionsvermögen dieses Körpers, $E_{S\lambda T}$ Strahlungsvermögen des schwarzen Körpers bei λ und T

Bild 5. Teilstrahlungspyrometer „Pyropto" (etwa 1950)

Bild 4
Pyrometer gemäß Bild 3

zeige in automatischen Belichtungsmessern oder für Regelungszwecke in fotometrischen Pyrometern [6] u. a. Ein heutiges Beispiel mit elektronischer Digitaltechnik zeigt Bild 6.

Bild 7 faßt die geschilderten Fakten zusammen und verdeutlicht die historische Entwicklung.

Am Beispiel der Füllstandsmeßtechnik [4] und [7] kann gezeigt werden, wie die zunehmende Anzahl von Meßverfahren zu höherer Leistungsfähigkeit der Meßtechnik beigetragen hat. Hierzu zeigt Bild 8 eine geringe Auswahl an Fakten. Das Auftriebverfahren ist schon seit dem Altertum bekannt. Die Meßobjekte konnten damit nur einfacher Art (z. B. Wasser) in konstruktiv gut zugänglichen Behältern sein. Nach 1900 setzte eine breite Entwicklung zahlreicher neuer Verfahren ein, die immer vielfältigere Meßbedürfnisse befriedigen konnten, so daß bereits 1965 eine sehr leistungsfähige Füllstandsmeßtechnik zur Verfügung stand.

Die beiden geschilderten Entwicklungsbeispiele waren typisch für die Meßgeräteentwicklung im Berichtszeitraum.

Bild 6. „Kontaktloses Thermometer" (1980; VR Polen)

Der generelle Schritt von der Meßtechnik zur Regelungstechnik wurde etwa um 1930 vollzogen. Einzelne Ausführungen von Reglern sowie eine Regelungstheorie gab es zwar schon seit dem 19. Jahrhundert [8] bis [10], der breite Einsatz im industriellen Bereich setzte aber erst zum genannten Zeitpunkt ein. Einige Gerätebeispiele aus dieser Zeit sind u. a. zu nennen:

— Strahlrohrregler (Askania, um 1930) (Bild 9)
— Elektromagnetischer Tastbügelregler (um 1935) (Bild 10)
— Pneumatischer Druckregler MD 363 (VEB Mertik, um 1950) (Bild 11)
— Elektronischer Regler EGP 72 (VEB Mertik, um 1955) (Bild 12)
— UEB-Gefäßeinheiten (VEB GRW, um 1960) (Bild 13).

Man sieht hier die unterschiedlichsten Konstruktionsformen; lediglich das

Physikalische, konstruktive Basis	Aufbau	Bedienung
Fotometrisches Entfernungsgesetz, Flammen-Vergleichsstrahler	mechanisch präzis, aufwendig	zahlreiche geschickte Handgriffe
Stefan-Boltzmann, Kirchhoff, elektrischer Vergleichsstrahler	einfacher	unkomplizierter
Drehwiderstand, elektrische Anzeige	kleiner	sehr einfach
fotoelektrischer Halbleitereffekt	selbstätige Anzeige, Regelung	(teil-) automatisch

Bild 7
Zur Entwicklung fotometrischer Geräte (1900—1965)

Bild 8. Zur Ausweitung der Füllstandsmeßtechnik

Bild 10. Elektromechanischer Tastbügelregler (um 1935)

UEB-System zeigt schon Bestrebungen zum Baukastensystem. Chronologische Auflistungen wesentlicher Merkmale von Regelungsgeräten dieses Zeitraumes lassen systematische Entwicklungslinien erkennen. Entsprechende Untersuchungen wurden z. B. auf dem Gebiet der Pneumatik gemacht [11] (Bild 14). Man erkennt, wie schrittweise aus unkompatiblen Einzelgeräten der 20er bis 50er Jahre komplexe Automatisierungssysteme seit den 60er Jahren entwickelt worden sind. Systeme der 60er Jahre waren unter anderem das pneumatische Niederdrucksystem UNIPNEU (etwa ab 1960, Bild 15) [12], das elektrische UEB-System (etwa ab 1960, Bild 16) [13] und [14] und das damals vollkommenste System ursamat (ab 1965, Bild 17) [15]. Erste Ansätze zu Gerätesystemen gab es schon in den 30er Jahren bei den Strahlrohrreglern.

Bild 9. Strahlrohrregler (um 1930)

Die neueste Entwicklung des ursamat-Systems ist bekanntlich das Teilsystem ursatron 5000 [16], zu dessen Inhalt dem heutigen Trend gemäß nicht nur Hardware, sondern auch Software gehört und das somit die vollkommenste Form eines Automatisierungsgerätesystems darstellt.

Eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung der Automatisierungssysteme hat die Transmittertechnik (Meßumformertechnik) gespielt. Wenn man noch einmal am obigen Beispiel der historischen Fakten zur Füllstandsmeßtechnik anknüpft (Bild 8), sieht man, wie mannigfaltig die Abbildungssignale der verschiedenen Meßfühler sind. Die Nutzung der Abbildungssignale erfordert nun meist eine Verstärkung, also eine zweite

Bild 11. Pneumatischer Druckregler MD 363 (um 1950)

Bild 12. Elektrischer Regler EGP 72 (um 1955)

Bild 13
UEB-Gefäßeinheiten (um 1960)

Zeitraum	Fakten
1926–50	Prinzip vielfach gleich, zahlreiche Meßwerkregler, unterschiedliche Signalbereiche u. Gehäuseformen, Abmessungen nicht kompatibel
1952–63	Bedienungskomfort umfangreich, Beginn von Gehäusestandards, Transmittertechnik (Meßumformer), Einheitssignale u.-geräte, Wartentechnik
ab 1965	Konsequente Realisierung von Automatisierungssystemen

Bild 14. Einige Merkmale pneumatischer Regelungsgeräte 1926–1965

Bild 15
Pneumatisches Niederdrucksystem UNIPNEU (um 1960)

Wandlung. Diese Wandlung ist mit verschiedenen Versorgungsenergien durchführbar (Bild 18), wobei schon im Berichtszeitraum die pneumatische und besonders die elektrische Versorgungsenergie dominierten. Vorläufer der Meßumformer waren mit Widerstandsgebern ausgerüstete elektrische und nichtelektrische Meßgeräte. Einer der ersten Geber dazu war die „Hausersche Walze“ [17]. Speziell entwickelte Meßumformer gibt es etwa seit 1935. Die Stromwaage (Bild 19) stammt mit etwas anderer äußerer Form aus dieser Zeit. Sie arbeitete nach dem Tauchspulenprinzip und wandelte elektrische Thermospannungen in pneumatische Niederdrucksignale. Ursprünglich wurde die Stromwaage als Meßumformer in Strahlrohrregeleinrichtungen benutzt. Die späteren Meßumformer im System ursapond führten die seinerzeit getrennte Entwicklung nichtelektrischer und elektrischer Geräte nach einer gemeinsamen Grundkonzeption zum ursamat-System zusammen [18].

Zwei Systemumformer der 50er und 60er Jahre zeigen Bild 20 (E/P-Wandler, Drehspulprinzip, VEB Mertik, um 1955) und Bild 21 (E/P-Wandler, Tauchspulprinzip, VEB GRW Teltow, um 1960).

Gravierende Qualitätsveränderungen in der Gerätetechnik brachte der Einfluß der Elektronik (Bild 22). Mit der Entwicklung der elektrisch-elektronischen Bauelemente vom Relais bis zum integrierten Schaltkreis hatten sich historisch die vier Gerätegenerationen von der klassischen Technik bis zur Großintegration herausgebildet.

Aufgrund territorialer Ausweitungen verschiedener technischer Einrichtungen waren u. a. bereits vor Jahrzehnten fernwirktechnische Probleme der Mehr-

Bild 16
Elektrisches UEB-System (um 1960)

Bild 17
ursamat-System (ab 1965)

Bild 19. Stromwaage

Bild 20. Strom-/Druckumformer (um 1955)

Verfahren	Meßfühler-Abbildungssignal	Geeignete Hilfsenergie für Meßwandler			
		ohne	hydraulisch	pneumatisch	elektrisch
Auftrieb	Kraft, Druck, Weg	×	×	×	×
Hydrostatik	Druck	×	×	×	×
Konduktometrie	Widerstand, Leitwert				×
Kapazitätsmessung	Kapazität				×
Radioaktivität	Spannung				×
Akustik	Schalldruck, Zeit			×	×
Mikrowellentechnik	Spannung, Zeit				×

Bild 18
Aspekte zur Transmittertechnik

fachausnutzung von Leitungen zu bewältigen. Zeitmultiplexe Lösungen gab es schon in den 20er Jahren (Bild 23) [19]. Mit synchron angetriebenen Umlaufschaltern tastete man sende- und empfangsseitig die verschiedenen Meß- bzw. Steuerungsstellen ab und gab die Signale zeitgeschachtelt über die Fernleitung. Die Umlaufschalter waren Kollektormotore (Bild 24). Für die Sicherung der übertragenen Signale war mit entsprechenden technischen Mitteln gesorgt. Seit dieser Zeit sind mehrere multiplexe Übertragungsverfahren entwikkelt worden. Eine spätere Ausführung der DDR war das Fernwirksystem ursatrans der 60er Jahre, das zeit- und frequenzmultiplexe Einrichtungen enthält, die maximal 1200 bit/s bzw. 30 Trägerfrequenzkanäle auf einer Leitung übertragen konnten. Die gegenwärtigen Einrichtungen des Systems ursatrans hat man, den heutigen Möglichkeiten entsprechend, weiter vervollkommnet.

In der DDR ist seit ihrer Gründung erfolgreich an der Entwicklung der Automatisierungstechnik gearbeitet worden [20].

Zusammenfassend sei bemerkt, daß die heutige Automatisierungstechnik auf wesentlich höherem Niveau steht als die MSR-Technik des Berichtszeitraumes. Man sollte das historische Erbe nicht nur als kulturellen Wert betrachten. Sicher sind viele nützliche Konsequenzen auch aus technisch-ökonomischer Sicht zu ziehen, wenn man sich die einschlägige Historie bewußt macht. Beispiele hierzu sind:

- die Trennung der Geräte in verschiedene Kategorien durch Einführung der Transmittertechnik,
- die Zusammenführung der nichtelektrischen und elektrischen Geräteentwicklung im ursamat-System aufgrund der Ideen mechanischer, pneumatischer und elektrischer Analogiebeziehungen
- der Umschlag gewachsener Erkenntnisse der klassischen Elektronik, Physik, Chemie, Technologie, Feinmechanik, Fototechnik u. a. in die neue Qualität „Mikroelektronik" u. a.

ursamat

Universelles System von Geräten und Einrichtungen zur Gewinnung, Übertragung, Verarbeitung und Nutzung von Informationen für die Automatisierung technologischer Prozesse

INFORMATIONSGEWINNUNG

INFORMATIONSÜBERTRAGUNG U. -VERARBEITUNG

INFORMATIONSNUTZUNG

ursakont

ursapond Kraftkompensierende Meßeinrichtungen

ursatherm Elektrische Temperatur-Meßeinrichtungen

ursabar Manometr. Druck- und Temperaturmeßeinrichtungen

ursaflux Volumen-Durchfluß-Meßeinrichtungen

ursalot Füllstands-Meßeinrichtungen

ursalyt Analysen-Meßeinrichtungen

ursaflop Zählereinrichtungen

ursazent Weg-Winkel-Drehzahl-Meßeinrichtungen

ursacord Sekundäre Anzeige- und Schreibgeräte

ursatron elektrisch

ursapneu pneumatisch

ursabran Einrichtungen zur digitalen Steuerung

ursabal Einrichtungen zur analog. Informationsverarbeitung

ursastat ohne Hilfsenergie

ursarel Meßfühler mit Relaisausg. (Relaisgeber)

ursadir Regler ohne Hilfsenergie

Bild 21. Strom-/Druckumformer (um 1960)

Bild 22. Generationen der Elektronik

Generation	Bezeichnung	Zeitraum etwa	Kriterien
Erste	Klassische Gerätetechnik	1910-1955	Vakuumröhre, diskrete Bauelemente, Chassisbauweise
Zweite	Miniatur-technik	ab 1948	Transistor, diskrete Bauelemente, Modul-und Leiterplattenbauweise
Dritte	Mikroelek-tronik	ab 1959	Integrierte Schaltkreise, Funktionselemente auf Oberfläche bzw. im Volumen eines Substrates
Vierte	Großintegration	ab 1963	Große Schaltungsgruppe auf einem Substrat

Bild 23. Mehrfachübertragungseinrichtung (um 1928), Prinzip

Bild 24. Verteilergerät zu Bild 23

Fotos (2, 5, 9, 10, 12, 13, 19, 20, 21): *V. Pullwitt*, TH Leipzig

Es ist somit zu hoffen, daß der große Erfahrungsschatz der Technikgeschichte für die gegenwärtige und zukünftige Technik noch besser verwertbar gemacht wird.

Literatur

[1] Photometer nach Dr. *Leonhard Weber*. Gerätebeschreibung von 1908.

[2] *Paetow, V.*: Das optisch-elektrische Pyrometer für Anschluß an Starkstrom. AEG-Mitteilungen 18 (1922) H. 8, S. 182–187.

[3] *Retzow, U.*: Zur Anwendung der optischen Pyrometer. AEG-Mitteilungen 18 (1922) H. 9, S. 206–208.

[4] *Hengstenberg, J.*; *Sturm, B.*; *Winkler, O.*: Messen und Regeln in der chemischen Technik. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1957.

[5] Halbleiter-Bauelemente. Katalog. VEB Halbleiterwerk Frankfurt, VEB Werk für Fernsehelektronik, VEB Keramische Werke Hermsdorf 1963.

[6] Fotoelektrisches Pyrometer FEP 2. Prospekt. Magdeburg: VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" 1974.

[7] *Müller, K.*: Füllstandsmeßverfahren – historische Recherche / Ableitung spezifischer Entwicklungsforderungen für das RWD. Diplomarbeit, TH Leipzig/VEB Reglerwerk Dresden 1979.

[8] *Rohr, H.*; *Müller, G.*; *Neuhaus, D.*: Zur Geschichte der Regelungstechnik. msr 23 (1980) H. 6, S. 345–349.

[9] *Rohr, H.*: Vom elektromechanischen zum elektronischen Regler. Der VEM Elektro-Anlagenbau 14 (1978) H. 3, 4. Umschlagseite.

[10] *Rohr, H.*: Historische Anfänge zur dynamischen Regelungstheorie – ein Beitrag von *Maxwell* 1868 – . msr 23 (1980) H. 7, S. 412 und 413.

[11] *Klötzer, W.*: Untersuchung der Einsatzbedürfnisse und Möglichkeiten der im VEB Reglerwerk Dresden zu produzierenden Geräte der pneumatischen Analog- und Digitaltechnik. Diplomarbeit, TH Leipzig/VEB Reglerwerk Dresden 1977.

[12] GRW – messen, steuern, regeln. Niederdruckpneumatik, Teil 1. Katalog, Heft 5. VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow 1964.

[13] *Götze, K.*: Elektrischer Zweig des Internationalen Einheitsbaukastensystems IEB. msr 3 (1960) H. 2, S. 89–91.

[14] GRW – messen, steuern, regeln. Elektrisches UEB-System. Katalog, Heft 9. VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow 1964.

[15] ursamat-Handbuch. Hrsg.: Institut für Regelungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1969.

[16] *Töpfer, H.*; *Fuchs, H.*; *Willem, H.*: Moderne gerätetechnische Mittel und ihre Konsequenzen für neue Automatisierungskonzepte. msr 23 (1980) H. 1, S. 2–10.

[17] 100 Jahre Meß- und Regelungstechnik. Prospekt. Frankfurt a. M.: Hartmann Braun 1979.

[18] *Karger, C.*: Sachzeugen zur Entwicklung des Produktionsprofils des VEB GRW Teltow von 1948 bis 1968 – Meßumformer (Transmitter). Diplomarbeit, TH Leipzig/VEB GRW Teltow 1979.

[19] *Schleicher, M.*: Die elektrische Fernbedienung von Unterstationen. Siemens-Ztschr. 8 (1928) H. 4, S. 281–289; H. 5, S. 320 bis 325.

[20] *Fuchs, H.*: 30 Jahre erfolgreiche Entwicklung der Automatisierungstechnik in der DDR. msr 22 (1979) H. 10, S. 546–549.

msr 7425 Dr. paed. Dipl.-Ing. *H. Rohr*, TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen; FUA Geschichte der Automatisierungstechnik der WGMA

Hochintegrierte digitale Schaltungen und ihre Anwendung. 3., bearb. Aufl. Band 184 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Von *D. Eckhard*, *E. Konrad* und *W. Leupold*. Berlin: VEB Verlag Technik 1980. 80 Seiten, 50 Bilder, 11 Tafeln, 4,80 Mark.
Bestell-Nr. 552 632 1

Die jetzt vom Verlag Technik vorgelegte 3. überarbeitete Auflage des Bandes 184 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK zum Problemkreis „Hochintegrierte digitale Schaltungen und ihre Anwendungen" wird einem dringenden Bedürfnis nach einführender Literatur in das hochmoderne Gebiet mikroelektronischer LSI-Bauelemente, ihrer Arbeitsweise und ihrer Anwendung gerecht.

Nach einer kurzen Einführung in die Prinzipien und Möglichkeiten der hochintegrierten elektronischen Bauelemente werden in drei Hauptkomplexen Speicherbausteine, Mikroprozessoren und Eingabe-/Ausgabe-Peripheriebausteine abgehandelt. Es ist besonders hervorzuheben, daß in dem sich mit Speicherbausteinen befassenden Kapitel nicht nur die üblicherweise Beachtung findenden RAM- und ROM-(EPROM)-Speicher aufgenommen wurden, sondern daß auch PLA-Schaltungen, CAM- und LIM-Speicher sowie Schieberegister einbezogen sind.

Das Kapitel „Mikroprozessoren" beschäftigt sich vorwiegend mit dem im Rechnersystem K 1510 eingesetzten MP U 808. Software-Fragen (Entwicklungssysteme u. a. m.) sind dabei — sicher aus Gründen des Umfangs — etwas kurz gekommen.

Peripheriebausteine (PIO, USART, ADU) spielen als Kommunikationsbauelemente zwischen dem Mikroprozessor und der ihn umgebenden Umwelt eine zunehmende Rolle. Ihre Darstellung ist klar und übersichtlich.

Das Bändchen wird abgerundet durch eine gut strukturierte Befehlsliste für den Mikroprozessor U 808.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch die Nachauflage des Bandes 184 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK dem Leser, der eine Einführung in die genannte, doch recht komplexe Problematik der Mikroelektronik sucht, ein gut gegliedertes und straff abgehandeltes Material in die Hand gegeben wird. Der Band wendet sich an einen breiten Leserkreis — Studenten, leitende Kader, wissenschaftliche Mitarbeiter u. a. —, die Zugang zu einem neuen Wissensgebiet finden wollen.

B 1485 *L. Claßen*

Betriebliches Meßwesen. Von *G. Stalloch* und *W. Strödel*. Band 196 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK.

Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 64 Seiten, 19 Bilder, 5 Tafeln. 4,80 Mark. Bestell-Nr. 552 994 4

Angesichts der rapid wachsenden Bedeutung des betrieblichen Meßwesens für die Qualitätssicherung und Standardisierung und des beträchtlichen Anteils von Meß- und Prüfprozessen an der volkswirtschaftlich aufzuwendenden lebendigen Arbeit ist ein Band wie der vorgelegte vorbehaltlos zu begrüßen. Die gebotene Beschränkung auf den der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK zugemessenen Umfang kann ganz selbstverständlich nicht die beinahe beängstigende Fülle an Details wiedergeben, die alle unter dem Titel einzuordnen wären. Wie das aber geschehen ist, muß lobend anerkannt werden; die von den Autoren beabsichtigte Betonung des betrieblichen Meßwesens in der verfahrenstechnischen Industrie wird im Titel leider nicht berücksichigt.
Behandelt werden die Stellung des betrieblichen Meßwesens, die gesetzlichen und organisatorischen Grundlagen, die Organisationsmittel (Nachweisführung, Prüf- und Meßmittelkataloge, Prüfschemata und -vorschriften) und abschließend werden Hinweise für das Meßwesen in der Produktionsvorbereitung, zur Durchführung von Messungen und zur Meßmittelinstandhaltung gegeben.
Es ist stelbstverständlich, daß Aufzählungen von Standards, Vorschriften und anderen Unterlagen einen breiten Raum einnehmen. Gerade diese sind es ja, die ein Beauftragter für das betriebliche Meßwesen benötigt, wenn er (etwa in einem Klein- oder Mittelbetrieb) Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchsetzen muß.
Die Notwendigkeit und Nützlichkeit des vorliegenden Bandes der bewährten REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK kann wohl am Besten daran gemessen werden, daß sich eine ganze Anzahl von Weiterbildungsmaßnahmen mit dem betrieblichen Meßwesen befaßt, wofür nicht immer ausreichendes Material zur Verfügung stand. Zwar wird der Band 196 viele Wünsche nicht umfassend erfüllen können, wohl aber ein konzentriertes Arbeitsmittel für viele ingenieurtechnische Kader — und sicher nicht zuletzt für Teilnehmer weiterbildender Maßnahmen — sein. B 1489 *W. Richter*

Mikroprozessorsysteme. 2., bearbeitete Auflage, von *A. Jugel*. Berlin: VEB Verlag Technik 1980, 224 Seiten, 100 Bilder, 27 Tafeln, 20,— Mark. Bestell-Nr. 552 847 4

Ziel dieses Buches, das sich vor allem an die Anwender von Mikroprozessoren wendet, ist die Vermittlung der wesentlichsten Kenntnisse über die Hard- und Software und damit über die Möglichkeiten von relevanten, effektiven Lösungen, für die verschiedensten Mikroprozessor-Applikationen, insbesondere auch im Sinne von OEM-Einsatzfällen.

Da die Arbeitsweise eines Mikroprozessors einerseits eng mit seinem Aufbau verbunden ist, andererseits aber für eine optimale Anwenderlösung die effektive Nutzung dieser Arbeitsweise ausschlaggebend ist, wird im Buch auch zunächst klar und übersichtlich der prinzipielle Aufbau eines Mikroprozessors und daran anschließend die grundlegende Struktur eines Mikroprozessorsystems betrachtet.

Durch die unmittelbare Spiegelung der Befehlsabarbeitung in die Ebene der Picoprogramme, d. h., in eine Darstellung der voneinander abhängigen, dynamischen Abläufe in der Hardware-Struktur, gewinnt der Leser die Übersicht, die er letztlich zur Programmierung schneller und effektiver Instruktionen benötigt. Ausführlicher wird noch besonders auf die Ein- und Ausgabeeinheiten mit den direkten Speicherzugriffsmethoden sowie den dabei wesentlichen Fragen der Interfaces und der Interrupt-Behandlung eingegangen. Schwerpunkte bei diesen Betrachtungen sind der optimale Einsatz und die zweckmäßigste Ankopplung sowohl der Speicherbausteine (ROM, RAM) als auch der E/A-Einheiten selbst.
Die grundsätzlichen Ausführungen zur Programmierung werden ergänzt durch eine sehr gute Übersichtsdarstellung zu den Arten, Eigenschaften und Möglichkeiten von Entwicklungssystemen.
Damit können dann abschließend die wesentlichsten und entscheidensten Fragen der Einsatzvorbereitung erörtert werden: angefangen von der Grundfrage, ob für die vorgesehene Applikation wirklich ein Mikroprozessorsystem sinnvoll und adäquat ist (und wenn ja, welcher Typ), bis hin zu den Fragen des Ablaufes eines Einsatzprojektes für Mikroprozessoren. Die anwendungsbezogene Darstellung des Stoffes und seine ausgezeichnete didaktische Aufbereitung haben offensichtlich einen breiten Leserkreis angesprochen und zu einem raschen Absatz der ersten Auflage geführt. Die nun vorliegende wesentlich verbesserte und aktualisierte zweite Auflage wird sicherlich in gleicher Weise von vielen Lesern dankbar aufgenommen.
B 1493 *S. Pilz*

Handbuch der Qualitätssicherung. Herausgeber: *W. Masing*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1980. 995 Seiten, 352 Bilder, 45 Tafeln.

Qualität und Kosten sind die entscheidenden Kriterien für die Erzeugnisbewertung auf dem Weltmarkt.
Zunehmende Präzision der Erzeugnisse, wachsender Automatisierungsgrad der Prozesse, rasche Veränderungen der Technologien und steigender Fertigungsumfang, verbunden mit der Notwendigkeit einer energie- und kostengünstigen Herstellung, stellen immer größere Ansprüche an die Qualitätssicherung.
Das vorliegende Handbuch kommt dem Bedürfnis nach einer deutschsprachigen geschlossenen Darstellung der gegenwärtig abhebbaren allgemeingültigen Erkenntnisse über die Qualitätssicherung sehr entgegen.
Von den 60 Autoren, die als profilierte und praxiserfahrene Fachleute der Qualitätssicherung der Bundesrepublik Deutschland bekannt sind, werden alle relevanten Teilgebiete der Qualitätssicherung aus der Sicht der von ihnen betreuten Wirtschaftsunternehmen dargestellt.

Das Handbuch umfaßt 58 selbständige Kapitel und behandelt

- Qualitätspolitik, historische Entwicklung und Grundlagen der Qualitätssicherung
- Messen und Prüfen
- Statistische Verfahren
- Qualitätssicherung bei der Produktentwicklung und -fertigung sowie dem Produkteinsatz
- Übergreifende Probleme der Qualitätssicherung, wie beispielsweise Organisation der Qualitätssicherung, Qualitätskosten und Kleinrechnereinsatz in der Qualitätstechnik.

Die Qualitätssicherung im betrieblichen Reproduktionsprozeß — dargestellt am Entstehungsprozeß des Erzeugnisses von der Produktentwicklung bis zum -einsatz — bildet mit 40% den Hauptteil des Buches.
Die modernen theoretischen Grundlagen werden durch umfangreiche betriebspraktische Erfahrungen untermauert, die eine langjährige intensive Auseinandersetzung mit der betrieblichen Praxis erkennen lassen.
Durch Herausgeber und Autoren wurde durch starken Bezug auf aktuelle ISO- und DIN-Normen sowie Empfehlungen der "European Organization for Quality Control" (EOQC) und der „Deutschen Gesellschaft für Qualität" (DGQ) eine vereinheitlichte Anwendung der Fachtermini angestrebt.
Auf Standards und Literaturquellen der RGW-Staaten wurde nur in wenigen Ausnahmen eingegangen.
Die Autoren haben es gut verstanden, die Breite des Gebiets der Qualitätssicherung dem Leser bewußt zu machen und verständlich zu beschreiben.
Das Handbuch ist gleichermaßen als Nachschlagewerk und tägliches Arbeitsmittel für Praktiker, Wissenschaftler und Lernende eine wertvolle Hilfe.
B 1491 *D. Hofmann*

Hierbei handelt es sich um Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Diese Bücher können über den Volksbuchhandel bezogen werden.

[1] Technologija obrabotki dannych v ASU (posobie operatoru) (Technologie der Datenverarbeitung in ASU (Handbuch für den Operateur)) Technika (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (59).

[2] *Gorelov, D. A.:* Sistemy upravlenija v černoj metallurgii (Systeme in der Schwarzmetallurgie). Technika (USSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (75).

[3] Avtomatizacija proektirovanija v elektronike. Vyp. 25 (Automatisierung der Projektierung in der Elektronik. Ausg. 25). Technika (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (171).

[4] Avtomatizacija proektirovanija v elektronike. Vyp. 26. (Automatisierung der Projektierung in der Elektronik. Ausg. 26). Technika (USSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (172).

[5] Avtomatizirovannye sistemy upravlenija i pribory avtomatiki. Vyp. 61 (Automatisierte Steuerungssysteme und Geräte der Automatik. Ausg. 61). Izd-vo Char'k. un-ta. 1. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (173).

[6] Avtomatizirovannye sistemy upravlenija i pribory avtomatiki. Vyp. 62 (Automatisierte Steuerungssysteme und Geräte der Automatik. Ausg. 62). Izd-vo Char'k. un-ta. 1. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (174).

[7] Adaptivnye sistemy avtomatičeskogo upravlenija. Vyp. 10 (Adaptive Systeme der automatischen Steuerung. Ausg. 10). Technika (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (176).

[8] Gidroprivod i gidroavtomatika. Vyp. 18 (Hydroleitung und Hydroautomatik. Ausg. 18). Technika (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (182).

[9] Gornaja elektromechanika i avtomatika. Vyp. 40 (Bergbauelektromechanik und -automatik. Ausg. 40). Technika (USSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (183).

[10] Gornaja elektromechanika i avtomatika. Vyp. 41 (Bergbauelektromechanik und -automatik. Ausg. 41). Technika (USSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (185).

[11] Kibernetika na morskom transporte. Vyp. 11 (Kybernetik im Überseetransport). Technika (USSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (191).

[12] Technologija i avtomatizacija mašinostroenija. Vyp. 29 (Technologie und Automatisierung des Maschinenbaues. Ausg. 29). Technika (USSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (233).

[13] Technologija i avtomatizacija mašinostroenija. Vyp. 30 (Technologie und Automatisierung des Maschinenbaues. Ausg. 30). Technika (USSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 15–81 (254).

[14] *Dorogovcev, A. Ja.:* Teorija ocenok parametrov slučajnych processov (Theorie der Parameterschätzung von stochastischen Prozessen). Izd-vo Kiev. un-ta. 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (61).

[15] *Kornejčuk, N. P.; Ligun, A. A.; Doronin, V. G.:* Approksimacija s organičeniem (Approximation mit Beschränkung). Naukova dumka (USSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (62).

[16] *Koroljuk, V. S.; Turbin, A. F.:* Processy markovskogo vosstanovlenija v zadačach nadežnosti sistem (Markovsche Prozesse der Erneuerung in Aufgaben der Systemzuverlässigkeit). Naukova dumka (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (63).

[17] *Gluškov, V. M.; Ivanov, V. V.; Jacenko, V. M.:* Osnovy modelirovanija razvivajuščichsja sistem (Grundlagen der Modellierung sich entwickelnder Systeme). Naukova dumka (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (144).

[18] *Egipko, V. M.; Akimov, A. P.; Gorin, F. N.:* Procedury i metody proektirovanija avtomatizirovannych sistem dlja naučnych issledovanij (Prozeduren und Methoden zur Projektierung automatisierter Systeme für wissenschaftliche Forschungen). Naukova dumka (USSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (145).

[19] *Makarov, O. M.:* Vvedenie v teoriju optimizacii vyčislenij bol' šich sistem (Einführung in die Theorie der Optimierung der Berechnung großer Systeme). Naukova dumka (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (146).

[20] Preobrazovateli formy informacii dlja malych EVM (Wandler der Informationsform in kleinen EDVA). Naukova dumka (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (147).

[21] *Samojlov, V. D.:* Cifrovye modelirujuščie struktury so znakovym uravnovešivaniem (Digitale Modellstrukturen mit Zeichenausgeglichenheit). Naukova dumka (USSR) 1. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (148).

[22] Issledovanie operacij i ASU. Vyp. 19 (Operationsforschung und ASU. Aug. 19). Iz-dvo Kiev. un-ta. 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (184).

[23] Kibernetika i vyčislitel'naja technika. Vyp. 54 (Kybernetik und Rechentechnik. Ausg. 54). Naukova dumka (USSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (186).

[24] Kibernetika i vyčislitel'naja technika. Vyp. 55 (Kybernetik und Rechentechnik, Ausg. 55). Naukova dumka (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (187).

[25] Mašinnaja obrabotka informacii. Vyp. 34 (Maschinelle Informationsverarbeitung. Ausg. 34). Izd-vo Kiev. un-ta. 1. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (197).

[26] Otbor i peredača informacii. Ausg. 67 (Auswahl und Übertragung von Information. Ausg. 67). Naukova dumka (USSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (208).

[27] Otbor i peredača informacii. Vyp. 68 (Auswahl und Übertragung von Information. Ausg. 68). Naukova dumka (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (209).

[28] Teorija slučajnych processov. Vyp. 10 (Theorie der stochastischen Prozesse. Ausg. 10). Naukova dumka (USSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 16–81 (220).

[29] Modelirovanie i issledovanie sistem avtomatičeskogo upravlenija (Modellierung und Untersuchung von Systemen der automatischen Steuerung). Izd-Dal'nevost. nauč. centra AN SSSR. 1978. NK-No. 16–81 (331 M).

[30] *Barzilovič, E. Ju.:* Modeli techničeskogo obsluživanija složnych sistem (Modelle der technischen Bedienung komplizierter Systeme). vysš. škola. 1. Quart. 1982. NK-No. 17–81 (146).

[31] *Il'ičev, A. V.; Volkov, V. D.; Gruščanskij, V. A.:* Effektivnost' proektiruemych elementov složnych sistem (Effektivität der projektierten Elemente komplizierter Systeme). Vysš. škola. 1. Quart. 1982. NK-No. 17–81 (147).

[32] *Majorov, S. A.; Novikov, G. I.:* Elektronnye vyčislitel'nye mašiny (Elektronische Rechenmaschinen). Vysš. škola. 1. Quart. 1982. NK-No. 17–81 (148).

msr 7464

27. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

Die Technische Hochschule Ilmenau veranstaltet in der Zeit vom 25. bis 29. Oktober 1982 ihr 27. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium.
In den Vortragsreihen dieses Kolloquiums werden wissenschaftliche Ergebnisse und technische Entwicklungen aus den Fachgebieten der Sektionen Technische und Biomedizinische Kybernetik; Mathematik, Rechentechnik und ökonomische Kybernetik behandelt.

Das Programm umfaßt folgende Themengebiete:

- Analyse, Optimierung und Automatisierung technischer und nichttechnischer Prozesse
- Entwurf, Analyse und Einsatz von informationsverarbeitenden Geräten und Systemen
- Grundlagen und Probleme der Prozeßmeßtechnik
- Biomedizinische Technik und Bionik
- Mathematische Optimierung — Theorie und Anwendung
- Graphen und Netzwerke — Theorie und Anwendung
- Theorie und Anwendungen der Informationsverarbeitung
- Betriebswirtschaftliche und arbeitswissenschaftliche Aspekte der Automatisierung
- Ausbildung von Ingenieuren in Mathematik und Informationsverarbeitung.

Vortrags- und Besucheranmeldungen sind bis 15. Oktober 1981 zu richten an: Technische Hochschule Ilmenau, Organisationskomitee des 27. IWK, Direktorat für Internationale Beziehungen, DDR-6300 Ilmenau, PSF 327.

Fortschritte in der BMSR-Technik durch Einsatz der Mikrorechentechnik in der chemischen Industrie

Der FUA Meß- und Gerätetechnik im Fachverband Chemische Technik der KDT führt am 28. Oktober 1981 im Klubhaus „Freundschaft" des Kombinats VEB Chemische Werke Buna in Schkopau die o. g. Fachtagung durch.

Folgende Vorträge sind vorgesehen:

- Anwendung von Sensoren in der BMSR-Technik der chemischen Industrie
- Ein neues Automatisierungssystem zur Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse
- Teilautomatisierung von Schmelzflußelektrolysebädern durch Einsatz der Mikrorechentechnik
- Einsatz von 3 Mikrorechnersystemen K 1510 an einer Verladeanlage für Dieselkraftstoff
- Prozeßrationalisierung durch Einsatz von Steuereinrichtungen ursalog 4000 und ursalog 5010
- Komplexe Steuerung von Separatoren durch Mikrorechner
- Mengenumwertung mittels Mikrorechner K 1510
- Bildschirmorientierte Meßwerterfassungs und -aufbereitungsanlage mit Mikrorechner K 1510 zur Überwachung chemischer Prozesse.

Interessenten wenden sich bitte an das Kombinat VEB Chemische Werke Buna, Abt. TRG, C34, Dipl.-Phys. *H. Iltzsche*, 4212 Schkopau, Tel. Merseburg 497358.

4. wissenschaftliche Konferenz Rationalisierung im Maschinenbau

Der Wissenschaftliche Rat der Ingenieurschule Zwickau führt in Verbindung mit der Hochschulsektion der KDT am 16. und 17. März 1982 die o. g. Konferenz durch.
In 9 Fachgruppen werden wissenschaftliche Arbeitsergebnisse zu folgenden Themenkomplexen vorgestellt:

- Handhabetechnik
- Material- und energiesparende Verfahren und Fertigungsprozesse
- Technologische Projektierung flexibler Montagesysteme für die Großserien- und Massenfertigung
- Eigenspannungen und Oberflächenverfestigung
- Meß- und Prüftechnik für elektromechanische Systeme
- Meß- und Prüftechnik für elektronische Systeme
- Planmäßige Vergesellschaftung von Produktion und Arbeit
- Rationalisierung der ökonomischen Analyse
- Rationalisierung der Leitung des Produktionsprozesses.

Teilnahmemeldungen sind umgehend zu richten an das Organisations- und Tagungsbüro, Ingenieurhochschule Zwickau, Dipl.-Ök. *G. Dieke*, 9540 Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2A, Tel. 823463.

Jahrestagung der WGMA 1981

Die WGMA in der KDT und die Friedrich-Schiller-Universität Jena veranstalten am 5. und 6. November 1981 gemeinsam die Jahrestagung der WGMA 1981 und den JENAer Ingenieurtag.
Die Vorträge haben insbesondere das Ziel, zusammenfassend über den derzeitigen wissenschaftlich-technischen Stand, die Anwendungsmöglichkeiten und die zu erwartende Entwicklung auf den durch die nachfolgend angegebenen Themen gekennzeichneten Gebieten zu informieren:

- Stand und Perspektive der Sensortechnik
- Stand und Perspektive der rechnergestützten Präzisionstechnik
- Stand und Perspektive der elektronischen Meßwerterfassungstechnik zwischen Sensor und Mikrorechner
- Stand und Perspektive der rechnergestützten Analysenmeßtechnik.

Interessenten wenden sich bitte an die KDT-WGMA, 1086 Berlin, PF 1315, Telefon: 220 2531, App. 318 oder 216.

25 Jahre Informationselektronik an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock

Aus Anlaß dieses Jahrestages veranstalten die Wissenschaftsbereiche Schaltungstechnik und Informationstechnik der Sektion Technische Elektronik am 17. September 1981 ein festliches wissenschaftliches Kolloquium.
Teilnahmemeldungen sind zu richten an: Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik, 2500 Rostock 1, Albert-Einstein-Straße.

Informationsstelle Mikroelektronik

Seit Oktober 1980 besteht in Frankfurt/Oder die Beratungs- und Informationsstelle Mikroelektronik. Sie will die Kombinate und Betriebe des Bezirks bei der Anwendung und Einführung der Mikroelektronik konkret und praktisch unterstützen. Eine ständige Ausstellung vermittelt einen Überblick über die vorhandenen Bauelemente und ihren Einsatz. Dort ist auch ein Mikrorechnersystem vorhanden, mit dem die Anwendung von Mikroprozessoren trainiert werden kann. Ein Elektronikbaukasten macht mit der digitalen Schaltungstechnik vertraut. An einem Programmierarbeitsplatz können Mikrorechner vom Typ K 1510 programmiert werden. Auch die gemeinsame Programmentwicklung mit Anwendern, die über keinen eigenen Programmierarbeitsplatz verfügen, ist möglich. (ADN-BWT (18) 1451)

KURZFASSUNGEN

Wernstedt, J.: IA 6.3.

Zum Entwurf und Einsatz von Beratungseinheiten bei der operativen Steuerung von komplexen Prozessen durch den Menschen

msr 24 (1981) H. 9, S. 482–486

Ziel dieses Beitrags ist es, eine Konzeption zur operativen Steuerung auf der Basis von „Beratungseinheiten" vorzustellen, die auf der Grundlage einer Prozeßanalyse die Steuerentscheidungen des Menschen objektivieren. Die Leistungsfähigkeit des Konzepts der Beratungseinheiten wird am Beispiel der Steuerung der Aluminiumschmelze, der Wassermenge in Flußläufen und der Qualität des Stahls demonstriert.

Lorenz, J.; Müller, J.-A.: IA 6.2.

Zur Ermittlung einer dynamischen Teilverflechtungsbilanz der Metallurgie

msr 24 (1981) H. 9, S. 486–490

Zur Ermittlung von Varianten der Entwicklung der Aufkommensstruktur der Metallurgie, die langfristig eine stabile Versorgung der Volkswirtschaft mit schwarzmetallurgischen Erzeugnissen gewährleistet, wird ein dynamisches Modell erarbeitet, das die variablen Kooperationsbeziehungen erfaßt, Substitutionsbeziehungen zwischen Arbeitskräften und Grundfonds besser abbildet und die Grundfondsreproduktion sowie den Einfluß des wissenschaftlich-technischen Fortschritts berücksichtigt. Probleme der Identifikation und Ergebnisse von Testrechnungen für eine ausgewählte Struktur auf der Grundlage einer rechen-
echnischen Realisierung sind enthalten.
t

Frohberg, W.: IA 4.0.5.; 5.6.4.

Meßwerterfassung und -verarbeitung an Extrusionsanlagen mit Hilfe eines Prozeßrechners R 4000/R 4200

msr 24 (1981) H. 9, S. 491–494

Im VEB Orbitaplast wird an 60 Extrudern, die Polyäthylenfolien herstellen, Meßwerterfassung und -verarbeitung mit einem zentralen Prozeßrechner R 4000 sowie einer Prozeßeingabe- und -ausgabeeinheit ursadat 4000 durchgeführt. Im Beitrag wird beschrieben, welche Arten von Meßstellen erfaßt werden, wie die Verarbeitung erfolgt und welche Probleme bei der Inbetriebnahme aufgetreten sind. Alle verwendeten Ausrüstungen und Montagematerialien sind aus DDR-eigenem Aufkommen.

Galzmanga, H.: IA 4.2.

Kopplung gasanalytischer Meßeinrichtungen mit dem Prozeß

msr 24 (1981) H. 9, S. 498–501

Im Beitrag werden die Kopplung von Prozeßanalysatoren mit dem Meßort erläutert und verwendete Armaturen vorgestellt. Die Lösungsvorschläge sind für die geschilderten Meßaufgaben typisch und lassen sich jeweils durch kleine Änderungen in der Schaltung Sonderfällen anpassen.

Heinze, D.: IA 3.2.4.4.

Systematik und Modellgleichungssatz zur einheitlichen mathematischen Beschreibung von Gasfeuchtemeßverfahren

msr 24 (1981) H. 9, S. 502–508

Für das Gebiet der Gasfeuchtemeßtechnik gibt es bisher keine verallgemeinerungsfähige Darstellung auf der Basis der den Meßverfahren gemeinsam zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten. Aus der Analyse der Wirkungsmechanismen bekannter Hygrometer wird eine Systematik erarbeitet, durch die eine eindeutige Einordnung der Hygrometer möglich ist. Es wird ein Modellgleichungssatz angegeben, aus dem die mathematischen Modelle für das Psychrometer, das Tauspiegelhygrometer und den LiCl-Taupunktfühler abgeleitet werden. Der Modellgleichungssatz kann auf alle Hygrometer angewendet werden, die auf dem Wirkungsmechanismus des thermodynamischen Gleichgewichtes beruhen.

Meyer, G.; Fensch, S.: IA 1.1.8.

Beschreibung, Analyse und Implementierung von Software-realisierten Steuerungen durch Petri-Netze

msr 24 (1981) H. 9, S. 508–512

Im Beitrag wird gezeigt, daß durch Petri-Netze mit relativ einfachen Modifikationen eine geschlossene Software-Konzeption für parallele Steuerprozesse vom Entwurf bis zur Implementierung auf Ein- oder Polyprozessorsystemen möglich ist. An einem konkreten Beispiel wird neben der gewählten Netzinterpretation und einigen Aspekten der Analyse die direkte Implementierung mit einem interpretativen Echtzeitsteuerprogrammsystem beschrieben.

РЕЗЮМЕ

Wernstedt, J.: IA 6.3.

О проекте и применении обсуждаемых блоков при оперативном управлении комплексных процессов человеком

msr 24 (1981) № 9, стр. 482–486

Целью этой статьи является представление концепции оперативного управления на основе „обсуждаемых блоков", объективирующих на базе анализа процесса управляющие решения человека. Мощность концепта обсуждаемых блоков продемонстрирована на примере управления плавления алюминия, количеством воды в реках и качеством стали.

Lorenz, J.; Müller, J.-A.: IA 6.2.

Об определении динамического баланса частичных межотраслевых связей в области металлургии

msr 24 (1981) № 9, стр. 486–490

Для определения вариантов развития структуры поступления металлургии, которая долгосрочно обеспечивает стабильное снабжение народного хозяйства изделиями черной металлургии, разработана динамическая модель, принимающая переменные связи кооперирования, связи субституции между рабочими силами и фондами основных средств лучше отражает, а также учитывает репродукцию фондов основных средств и влияние научно-технического прогресса. Указаны проблемы идентификации и результаты поверочных расчетов для выбранной структуры на основе реализации с учетом вычислительной техники.

Frohberg, W.: IA 4.0.5.; 5.6.4.

Регистрация и обработка результатов измерений на установках выдавливания с помощью вычислительной машины для управления процессами типа R 4000/R 4200

msr 24 (1981) № 9, стр. 491–494

В НП ОРБИТАПЛАСТ на 60 машинах выдавливания, выпускающих плёнки из полиэтилена, проведены регистрация и обработка результатов измерений на центральной вычислительной машине для управления процессами типа R 4000, а также на устройстве связи с объектом. В статье описано, какие виды точек измерения регистрируются, как происходит обработка и какие проблемы возникают при пуске в эксплуатацию. Все применяемое оборудование и монтажные материалы сделаны в ГДР.

Galzmanga, H.: IA 4.2.

Связь газоаналитических измерительных устройств с процессом

msr 24 (1981) № 9, стр. 498–501

В статье представлена и пояснена связь между анализаторами процессов и местом измерения и применяемые арматуры. Предложения по решению являются типичными для показанных измерительных задач и могут быть согласованы со специальными случаями путем небольших изменений схемы.

Heinze, D.: IA 3.2.4.4.

Систематика и закон моделирования уравнений для унифицированного математического описания методов измерения влажности газов

msr 24 (1981) № 9, стр. 502–508

В области техники измерения влажности газов до сих пор не существует изображение, способное к обобщению, на основе закономерностей, находящихся в общую основу методов измерения. Из анализа механизмов действия известных гигрометров разрабатывается систематика, с помощью которой возможна однозначная классификация гигрометров. Указан закон моделирования уравнений, из которого выведены математические модели психрометра, гигрометра, работающего на принципе зеркала росы, и чувствительного элемента на принципе точки росы.
Закон моделирования уравнений может применяться ко всем гигрометрам, основывающимся на механизме действия термодинамического равновесия.

Meyer, G.; Fensch, S.: IA 1.1.8.

Описание, анализ и имплементация управлений, реализуемых математическим обеспечением при помощи сети Петри

msr 24 (1981) № 9, стр. 508–512

В данной статье показано, что при помощи сетей Петри с относительно простыми модификациями возможна закрытая концепция матобеспечения для параллельных процессов управления от проекта до имплементации на одно- или полипроцессорные системы. На конкретном примере наряду с выбранной интерпретацией сети и рядом аспектов анализа описана непосредственная имплементация при помощи интерпретаторской управляющей программной системы, работающей в истинном масштабе времени.

SUMMARIES

Wernstedt, J.: IA 6.3.

On the Design and Applikation of Advisary Units in the Operative Manual Control of Complex Processes

msr 24 (1981) No. 9, pp. 482–486

The aim of this contribution consists in representing a conception for the operative control on the base of advisary units which objectivate the man's control dicisions on the base of a process analysis. The performance of the advisary unit conception is demonstrated by means of the examples of the control of the aluminium melting, water flow in river courses and steel quality.

Lorenz, J.; Müller, J.-A.: IA 6.2.

On the Determination of a Dynamic Partial Interlacing Balance in Metallurgy

msr 24 (1981) No. 9, pp. 486–490

For determining variants of the development of the advent structure of the metallurgy which ensure a stable black-metallurgic product supply of the political economics the authors elaborate a dynamic model which seizes the variable cooperation relations, better maps the substitution relations between manpower and basic funds and takes into account the basic funds reproduction as well as the influence of the scientific-technical progress. Problems as to identification and test calculations for a selected structure on the base of a computational realization are contained.

Frohberg, W.: IA 4.0.5.; 5.6.4.

Measurement Value Acquisition and Processing with Extrusion Plants by Means of the Process Computer R 4000/R 4200

msr 24 (1981) No. 9, pp. 491–494

In the VEB Orbitaplast for 60 extruders producing polyethylene foils the measurement value acquisition and processing is carried out by a central process computer R 4000 in connection with the process input-output unit URSADAT 4000. In this contribution the author describes what kinds of measurement points are seized, how the processing is carried out and what problems arised in starting the operation. The whole equipment was produced in GDR.

Gatzmanga, H.: IA 4.2.

Coupling Gas-Analytical Measurement Devices with the Process

msr 24 (1981) No. 9, pp. 498–501

In this contribution the author explains the coupling of process analyzers with the measuring point and presents applied armatures. The solution proposals are typical for the measuring problems mentioned and may be adapted to particular cases by small circuit changes.

Heinze, D.: IA 3.2.4.4.

Systematization and Model Equations for the Uniform Mathematical Description of Gas Moisture Measurement Methods

msr 24 (1981) No. 9, pp. 502–508

Till now for the field of gas moisture measurement there is no generalizable representation by means of the principles forming the common base for the measurement methods. From the analysis of the action mechanisms of known hygrometers the author elaborates a system by which an unambiguous classification of the hygrometers becomes possible. He presents a set of model equations from which the mathematical models for the psychrometer, the dew point hygrometer and the LiCl dew point sensor are derived. The model equation set may be applied to all hygrometers based upon the function mechanism of the thermodynamic balance.

Meyer, G.; Fensch, S.: IA 1.1.8.

Petri Nets for Description, Analysis and Implementation of Controls Realized by Software

msr 24 (1981) No. 9, pp. 508–512

In this contribution the authors show that a closed software conception for parallel control processes from design to implementation in single-or multiprocessor systems becomes possible by use of Petri nets with relatively simple modifications. For a concrete example, besides the selected net interpretation and some aspects of the analysis they describe the direct implementation by an interpretative real-time control program system.

RÉSUMÉS

Wernstedt, J.: IA 6.3.

Sur le projet et l'emploi d'unités de conseil près la commande manuelle opérative de processus complexes

msr 24 (1981) No. 9, pp. 482–486

Le but de cette contribution est la représentation d'une conception pour la commande opérative sur la base d'unités de conseil qui redent objectif les décisions de commande de l'homme à l'aide d'une analyse de processus. La performance de cette conception des unités de conseil est démontrée par les exemples de la commande de la fonte d'aluminium, du débit d'eau dans des lits de rivière et de la qualité d'acier.

Lorenz, J.; Müller, J.-A.: IA 6.2.

Sur la détermination d'un bilan partiel dynamique d'enlacement de la métallurgie

msr 24 (1981) No. 9, pp. 486–490

Pour déterminer des variantes du développement de la structure de rapport de la métallurgie qui assurent, pour l'économie politique, une fourniture stable de produits noir-métallurgiques, les auteurs élaborent un modèle dynamique qui saisit les relations variables de coopération, représente mieux les relations de substitution entre des employés et fonds de base et tient compte de la reproduction de fonds de base ainsi que de l'influence du progrès scientifique-technique. Des problèmes de l'identification et des résultats de calculs de test pour une structure choisie sur la base d'une réalisation à calculatrice sont contenus.

Frohberg, W.: IA 4.0.5.; 5.6.4.

L'acquisition et le traitement des valeurs de mesure près des installations d'extrusion par le calculateur de processus R 4000/R 4200

msr 24 (1981) No. 9, pp. 491–494

En VEB Orbitaplast pour 60 extrudeuse produisant des feuilles de polyéthylène, l'acquisition et le traitement des valeurs de mesure sont exécutés par le calculateur central de processus en connexion avec l'unité d'entrée et de sortie de processus URSADAT 4000. Dans cette contribution, l'auteur décrit quels types de points de mesure sont acquis, comment le traitement est exécuté et quels problèmes étaient apparus près la mise en service. Tout l'équipement était fabriqué en RDA.

Gatzmanga, H.: IA 4.2.

Le couplage de dispositifs de mesure gaz-analytiques avec le processus

msr 24 (1981) No. 9, pp. 498–501

Dans cette contribution, l'auteur explique le couplage d'analyseurs de processus avec le point de mesure et présente les armatures utilisées. Les propositions de solution sont typiques pour les problèmes de mesure mentionnés et peuvent être adaptées à des cas particuliers par petits changements du montage.

Heinze, D.: IA 3.2.4.4.

La systématisation et les équations de modèle pour la description mathématique uniforme de méthodes pour la mesure d'humidité de gaz

msr 24 (1981) No. 9, pp. 502–508

Dans le champ de la mesure d'humidité de gaz, jusqu'à présent, il n'existe pas une représentation généralisable à l'aide des principes formant la base commune des méthodes de mesure. A partir de l'analyse des mécanismes d'action d'hygromètres connus, l'auteur élabore un système par lequel une classification non-équivoque des hygromètres devient possible. Il donne un jeu d'équations de modèle à partir duquel on peut dériver les modèles mathématiques pour le psychromètre, l'hygromètre à condensation et le capteur à point de rosée LiCl. Le jeu d'équations de modèle peut être appliqué à tous les hygromètres basés sur le mécanisme d'action de l'équilibre thermodynamique.

Meyer, G.; Fensch, S.: IA 1.1.8.

Des réseaux de Petri pour la description, l'analyse et l'implantation de commandes réalisées par logiciel

msr 24 (1981) No. 9, pp. 508–512

Dans cette contribution, les auteurs montrent qu'une conception de logiciel fermée pour des processus de commande parallèles à partir du projet jusqu'à l'implantation dans des systèmes à un ou plusieurs processeurs. Pour un exemple concret, outre l'interprétation de réseau choisie et quelques aspects de l'analyse, ils décrivent l'implantation directe par un système de programme de commande interprétatif en temps réel.

Bestellschein

V
T

Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen

Expl.

Grundlagen der Beschallungstechnik
Reihe Monographie
W. Ahnert; *W. Reichardt*
1. Aufl., 272 Seiten, 123 Bilder, 6 Tafeln,
Leinen 35,— M
Bestell-Nr. 5528298 ....

TRAKTOREN
Technisches Handbuch
R. Blumenthal
6., durchgesehene Aufl., 376 Seiten,
363 Bilder, 36 Tafeln,
Kunstleder 26,70 M
Bestell-Nr. 5525935 ....

Vom Kutter zum Containerschiff
Schiffe von DDR-Werften in Text und Bild
Populärwissenschaftliche Literatur
M. Neumann; *D. Strobel*
1. Aufl., 168 Seiten, 178 Bilder, 2 Tafeln,
Pappband 20,— M
Bestell-Nr. 5529178 ....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik ebenfalls mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

....
Name, Vorname

....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsleiter	Dipl.-Ök. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Verantwortlicher Redakteur (komm.), Telefon: 2870374; Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Redakteur, Telefon: 2870362
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
	Umschlag — eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	DDR-Anzeigen: DEWAG Berlin, 1026 Berlin, Rosenthaler Str. 28–31 (Telefon: 2703290), und alle DEWAG-Zweigstellen. Anzeigenpreisliste Nr. 6 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter; örtlicher Buchhandel; VEB Verlag Technik
UdSSR	Gebiets- und Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' und Postämter
SVR Albanien	Spedicioni Shtypit te Jashtem, Tirane
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue-Paris, Sofia
VR Polen	ARS POLONA, Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei și Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, București
ČSSR	PNS, Vinohradská 46, 12043 Praha 2 PNS, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
Ungarische VR	P.K.H.I., P.O.B. 16, 1426 Budapest
Republik Kuba	Instituto Cubano del Libro, Centro de Exposición Belascoain 864, La Habana
VR China	China National Publications Import Corporation, P.O. Box 88, Peking
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
Koreanische VDR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
BRD und Westberlin	ESKABE · Kommissionsgrossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH. Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstr. 111, Berlin (West) 30, sowie weitere Grossisten und VEB Verlag Technik, DDR-1020 Berlin, Postfach 293
Österreich	Globus Buchvertrieb, Höchstädtplatz 3, A-1206 Wien
Schweiz	Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstr. 2, CH-8004 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; VEB Verlag Technik, DDR-1020 Berlin, Postfach 293

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.

Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1981 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

VEB STEREMAT „HERMANN SCHLIMME“ BERLIN

Betrieb des Kombinates VEB Elektro-Apparate-Werke
Berlin-Treptow „Friedrich Ebert“
Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit

EAW

Wir bieten Ihnen aus unserem Fertigungsprogramm der Füllstandtechnik:

Füllstandschalter LS 1, LS 2.1, LS 3.3, LS 6

LS 1

LS 2.1

LS 3.3

LS 6

Diese Geräte steuern und signalisieren automatisch den Füllstand in Behältern aller Art mit Flüssigkeiten jeden Reinheitsgrades und jeglicher Aggressivität.

Die hohe Meßgenauigkeit und die vielseitige Einsatzmöglichkeit machen unsere Füllstandschalter zu einem unentbehrlichen Rationalisierungsmittel in allen Industriezweigen der Volkswirtschaft.

Ihre Anfragen zu weiterem Informationsmaterial richten Sie bitte an:

VEB Steremat „Hermann Schlimme“ Berlin
1055 Berlin, Storkower Str. 115

Isotimpex

Elektronisches Taxameter ELTAX 20

Das Taxameter errechnet den Fahrpreis, den gesamten vom Auto zurückgelegten Weg, den mit dem Fahrgast zurückgelegten Weg, die Anzahl der Fahrten (Touren) und die Summe der abgerechneten Fortschaltbeträge.
Eltax 20 ist ein auf LSI-MOS-Schaltkreisen aufgebauter Taxi-Mikrocomputer. Der Fahrpreis wird durch ein 7-Segment-Display (Lichtemitterdioden) angezeigt. Die Kontrolldaten werden von elektromechanischen Zählern gespeichert. Eltax 20 arbeitet in 4 Tarifstufen. Grundtaxe, Tarife, Gebühren und Kenngrößen können in Abhängigkeit vom Autotyp leicht und schnell eingestellt werden.

Die Einstellung erfolgt durch Wechsel von Verbindungen im Kodefeld. Mit der Grundtaxe kann eine bestimmte Wegstrecke oder Wartezeit vorausbezahlt werden.
Eltax 20 ist mit dem Auto über einen Fotogeber verbunden. Der Geber hat ein geringes Gewicht und geringe Abmessungen. Er wird zwischen dem Tachometer und der Tachometerantriebswelle eingebaut.

Technische Daten:

- Arbeitsstellungen: „Frei“, „Tarife“ 1—4, „Klasse“
- Angezeigte Kenngrößen: Fahrpreis, Grundtaxe, Total-Kilometer, Besetzt-Kilometer, Anzahl der Fahrten, Summe der Fortschaltbeträge
- Anzeigen: 5stellige LED-Anzeige für den Fahrpreis und 1stellige LED-Anzeige für die Tarife
- Abmessungen: 175 × 165 × 96 mm³
- Masse: 1,6 kg
- Versorgungsspannung: 9 bis 15 V (Akkumulator des Autos)
- Leistungsaufnahme: 5 W bei 12 V
- Schutz gegen Funkstörungen

Exporteur:
AHO „ISOTIMPEX“, Tschapaew Str. 51 · Sofia/Bulgarien · Ruf: 73–61 · FS: 022731, 022732